ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 6 FÉVRIER 1922.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE BERTIN.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Secrétaire perpétuel** annonce à l'Académie que le tome 169 (1919, second semestre) des *Comptes rendus* est en distribution au secrétariat.

M. le **Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts** adresse ampliation du Décret, en date du 4 février 1922, portant approbation de l'élection que l'Académie a faite de M. **Maurice d'Ocagne** pour occuper la place d'Académicien libre vacante par le décès de M. *J. Carpentier*.

Il est donné lecture de ce Décret.

Sur l'invitation de M. le Président, M. **Maurice d'Ocagne** prend place parmi ses Confrères.

MÉCANIQUE. — *Quelques remarques sur la relativité.* Note de M. L. Lecornu.

I. Le principe classique de relativité est parfois énoncé en ces termes : « Les lois de la nature sont les mêmes pour des observateurs qui sont en mouvement de translation uniforme l'un par rapport à l'autre. »

C'est là une formule inexacte, comme le montre l'exemple simple que voici. Soit un plan horizontal sur lequel on a tracé deux axes rectangulaires Ox, Oy, issus d'un point fixe O, et sur lequel se déplacent deux axes $O'x'$, $O'y'$, parallèles aux premiers, l'origine O' parcourant Ox avec une vitesse constante v. Si, à l'instant initial, O' coïncide avec O, la distance OO' est, au bout du temps t, égale à vt. Imaginons maintenant que l'en-

semble tourne autour de la verticale de O avec la vitesse angulaire constante ω. Un observateur lié au système xOy constate qu'une masse m susceptible de glisser sans frottement sur Ox et retenue par un fil de longueur r attaché en O exerce sur ce fil la traction constante $m\omega^2 r$. Un autre observateur, lié au système $x'O'y'$, trouve qu'un fil identique attaché en O' reçoit d'une masse m mobile sur $O'x'$ la traction croissante $m\omega^2(r+vt)$. Bien entendu, dans cette expérience, le point O' est lui-même sollicité par la force centrifuge $m\omega^2 vt$, égale et contraire à la partie variable de la tension du fil. Mais l'observateur mobile est censé ne pas s'en apercevoir; il peut être enfermé dans un véhicule parcourant la voie Ox et freiné extérieurement de façon à conserver la vitesse v; la variation de tension ne l'en avertit pas moins qu'il est en mouvement.

Le principe de relativité suppose, en somme, que les axes conservent une orientation invariable par rapport à la sphère céleste.

L'énoncé que je critique se trouve textuellement à la page 114 du récent Ouvrage de M. Gaston Moch sur *La relativité des phénomènes*. Si je nomme cet auteur, c'est parce que, à la page 251, il m'impute une « confusion étrange » que j'aurais commise à propos du même principe quand, dans mon Livre de 1918 *La mécanique : les idées et les faits*, j'ai exprimé une remarque équivalente, au fond, à celle que je viens de faire. Il ne s'aperçoit pas que lui-même, à cet endroit, confond le principe de relativité avec un autre tout différent, qui est celui de l'indépendance entre l'effet d'une force et la vitesse de son point d'application.

II. On lit dans le même Ouvrage de M. Moch (p. 230) à propos du déplacement séculaire du périhélie de Mercure : « Poincaré, suivi par Lecornu, le réduit à 38″, auquel cas Einstein donnerait une valeur calculée trop forte de 13 pour 100. Vérification faite à l'Observatoire, grâce à l'obligeance de M. Nordmann, Le Verrier a bien trouvé 43″, à un ou deux dixièmes de seconde près. »

A cela, M. Nordmann vient de répondre en ces termes (1) : « D'après les calculs récents de Grossmann, il résulte des observations astronomiques réunies par Newcomb que la valeur effectivement constatée du déplacement séculaire du périhélie de Mercure est non pas de 43″, comme le croyait Le Verrier, mais de 38″ tout au plus. »

Quoi qu'il en soit, M. D. Berthelot a indiqué en 1916 (2) que le dépla-

(1) *Einstein et l'Univers*, p. 168.

(2) *Bulletin de la Société internationale des Électriciens.*

cement du périhélie de Mercure pourrait fort bien s'expliquer par l'intervention d'une force agissant, dans le plan de l'orbite, perpendiculairement à la vitesse, et proportionnellement à cette vitesse. C'est là un genre de forces que nous sommes habitués à rencontrer en Mécanique, notamment dans la théorie de l'effet gyroscopique et dans celle des mouvements relatifs (force centrifuge composée). Elles jouent aussi un rôle dans la dynamique des électrons.

Il est naturel de se demander si la déviation einsteinienne des rayons lumineux au voisinage du Soleil ne pourrait pas, à son tour, être attribuée à l'action combinée d'une pareille force et de l'attraction newtonienne. Le calcul suivant a pour objet de répondre à cette question.

III. Soit un point matériel de masse *un* mobile dans un plan où il est sollicité simultanément par deux forces : l'une, F, dirigée vers un centre fixe O et fonction de la distance r à ce centre; l'autre, Φ, perpendiculaire à la vitesse v et ayant une expression de la forme $vf(r)$, dans laquelle $f(r)$ désigne une fonction donnée de r. Pour avoir le moment de Φ par rapport à O, il suffit d'observer que la projection de cette force sur la direction perpendiculaire au rayon est $f(r)\frac{dr}{dt}$, et que le moment s'obtient en multipliant par r cette projection. D'après cela, si l'on appelle θ l'angle polaire, le théorème des aires fournit l'équation

$$\frac{d}{dt}\left(r^2\frac{d\theta}{dt}\right)=f(r)\,r\frac{dr}{dt},$$

d'où, en appelant $r^2\psi(r)$ la fonction primitive de $rf(r)$,

$$r^2\left[\frac{d\theta}{dt}-\psi(r)\right]=\text{const.} \qquad (1)$$

On voit que la vitesse aréolaire est constante par rapport à des axes tournant autour de O avec la vitesse variable $\psi(r)$.

D'autre part, le travail de Φ étant constamment nul, l'intégrale des forces vives donne, en appelant U le potentiel de F,

$$v^2+2U=\text{const.} \qquad (2)$$

Les équations (1) et (2) montrent que dans le cas de l'attraction newtonienne la trajectoire est une conique rapportée à des axes tournant avec une vitesse déterminée en fonction de r. Pour une planète, r oscille entre des limites assez rapprochées. Si l'on suppose alors négligeables les variations de $\psi(r)$, on peut dire que la trajectoire est une ellipse dont les axes

tournent uniformément. La condition pour que cette rotation soit de même sens que le mouvement sur l'ellipse est que $\psi(r)$ ait une valeur positive.

Dans le cas d'un rayon lumineux assimilé à une trajectoire képlérienne, celle-ci est une hyperbole et il devient nécessaire de tenir compte des variations de $\psi(r)$. Voici comment on peut alors calculer la déviation totale, égale à l'angle des asymptotes.

Soit $d\alpha$ l'angle de contingence, c'est-à-dire l'angle dont tourne la tangente pendant que r éprouve la variation dr. Soit p la distance de O à cette tangente. Le pied de la perpendiculaire abaissée de O se trouve à la distance $\sqrt{r^2-p^2}$ du point de contact de la tangente. La déviation $d\alpha$ fait donc éprouver à p une variation dp égale à $\sqrt{r^2-p^2}\,d\alpha$, d'où

$$d\alpha = \frac{dp}{\sqrt{r^2-p^2}}.$$

Comme $pv = r^2\frac{d\theta}{dt}$, l'équation (1) peut s'écrire

$$pv = r^2\psi(r) + \text{const.}$$

A l'infini, p prend une valeur limite ρ (distance de O à l'asymptote) et v devient la vitesse c de la lumière en dehors de tout champ de gravitation. Admettons que $r^2\psi(r)$ s'annule dans ces conditions et posons, d'une façon générale,

$$r^2\psi(r) = \varepsilon.$$

Il vient

$$pv = \rho c + \varepsilon.$$

D'autre part, U s'annulant à l'infini, la constante des forces vives est égale à c^2. On trouve ainsi

$$p = \frac{\rho c + \varepsilon}{\sqrt{c^2 - 2U}},$$

d'où

$$d\alpha = \frac{1}{\sqrt{r^2(c^2-2U) - (\rho c + \varepsilon)^2}}\left[d\varepsilon + \frac{(\rho c + \varepsilon)\,dU}{c^2-2U}\right].$$

Cette expression se simplifie si, vu la grandeur de c, on regarde comme négligeables $2U$ en présence de c^2 et ε en présence de ρc. Il reste alors

$$d\alpha = \frac{1}{c\sqrt{r^2-\rho^2}}\left[d\varepsilon + \frac{\rho}{c}\,dU\right].$$

La déviation totale δ s'obtient en intégrant cette expression, par rapport à r, depuis le minimum de r, égal sensiblement à ρ, jusqu'à l'infini, et doublant le résultat.

Soit $U = -\frac{\mu}{r}$ le potentiel newtonien. Si l'on commence par annuler ψ, et par conséquent ε, la déviation est

$$\delta = \frac{2\mu\rho}{c^2}\int_\rho^\infty \frac{dr}{r^2\sqrt{r^2-\rho^2}} = \frac{2\mu}{c^2\rho}.$$

On sait que, d'après Einstein, ce résultat serait deux fois trop faible. Mais il est clair que, d'une infinité de manières, on peut doubler δ en imposant à la fonction ε l'unique condition

$$(3) \qquad \int_\rho^\infty \frac{d\varepsilon}{\sqrt{r^2-\rho^2}} = \frac{\mu}{c\rho}.$$

Une solution particulièrement simple consiste à poser

$$\varepsilon = \frac{\rho}{c}U.$$

Si l'on adopte cette solution, il vient

$$(4) \qquad r^2\psi(r) = -\frac{\mu\rho}{cr} \quad \text{et} \quad rf(r) = \frac{\mu\rho}{cr^2},$$

d'où

$$f(r) = \frac{\mu\rho}{cr^3},$$

c'est-à-dire que la fonction f varie alors en raison inverse du cube de la distance au Soleil.

La loi à laquelle on parvient ainsi est semblable à celle de l'action d'un aimant sur une charge électrique mobile, comme si la force Φ était due à l'aimantation du Soleil. Cherchons si cette loi peut régir à la fois le déplacement du périhélie de Mercure et la déviation des rayons lumineux.

La théorie d'Einstein, à peu près vérifiée par l'observation, donne, pour le déplacement du périhélie à chaque révolution de la planète, la valeur $\frac{6\pi\mu}{c^2a(1-e^2)}$ dans laquelle a désigne le demi-grand axe et e l'excentricité égale, pour Mercure, à 0,20. Avec une erreur de 4 pour 100 seulement, nous pouvons remplacer $1-e^2$ par l'unité. La durée de la révolution est, d'après la troisième loi de Kepler, $2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$, en sorte que la vitesse de rotation du grand axe a pour valeur $\frac{3}{c^2}\sqrt{\frac{\mu^3}{a^5}}$,

Ici, nous admettons, pour cette même vitesse, l'expression $\psi(a)$ égale à $\frac{\mu\rho}{ca^3}$. Il faudrait donc que l'on eût $\rho = \frac{3}{c}\sqrt{a\mu}$ ou bien, en unités G.G.S., $\rho = 2{,}77.10^9$, tandis que le rayon du Soleil est réellement 7.10^{10}, c'est-à-dire 25 fois plus grand. Il y a une difficulté encore plus grave : le sens du déplacement du périhélie exige que la fonction ψ soit positive, alors que l'équation (4) donne une valeur négative. Cette divergence montre que, dans le voisinage immédiat du Soleil, les phénomènes sont plus compliqués que nous ne l'avons supposé en dernier lieu. Mais répétons que la formule (3) laisse subsister une grande latitude dans le choix de la fonction ε.

IV. On sait que, d'après Hertz, il n'existe pas d'actions à distance et la Mécanique se ramène entièrement à des mouvements de masses, visibles ou cachées, assujetties à des liaisons de contact, visibles ou cachées, mouvements qui vérifient le *principe de moindre contrainte* établi par Gauss. Sans doute, dans sa pensée, les masses cachées et les liaisons cachées concerneraient l'éther, envisagé dans ses relations avec la matière. Si l'on adoptait ce point de vue, les forces Φ devraient, au même titre que les forces de gravitation, être regardées comme des manifestations de la présence de l'éther, grâce auxquelles les phénomènes astronomiques s'expliqueraient par le principe de moindre contrainte, sans obliger l'intelligence humaine à sacrifier ses notions intuitives de l'espace et du temps.

ASTRONOMIE. — *Sur la détermination interférentielle des diamètres des étoiles dont l'éclat superficiel n'est pas uniforme.* Note de M. **Maurice Hamy.**

Mes recherches [1] sur la diffraction des images des astres circulaires, observées au foyer d'une lunette diaphragmée par une fente rectiligne, m'ont conduit à exprimer analytiquement l'éclat du disque, en un point quelconque, lorsqu'il diminue du centre au bord, par suite de l'absorption d'une atmosphère symétrique.

Soit ρ le rapport, au demi-diamètre de l'astre, de la distance angulaire d'un point du disque. On démontre que l'éclat, en ce point, s'exprime par la série convergente

$$(1) \qquad E = A_0 + A_1\sqrt{1-\rho^2} + A_2(1-\rho^2) + A_3(1-\rho^2)^{\frac{3}{2}} + A_4(1-\rho^2)^2 + \ldots,$$

[1] *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, 1917 et 1920; *Bulletin astronomique*, 1920.

A_0, A_1, A_2, ... étant des constantes dépendant de la constitution de l'atmosphère de l'astre.

La formule (1), même limitée à quelques termes, représente fort exactement les faits dans le cas du Soleil. Prenons, en effet, comme point de départ, les déterminations suivantes ([1]) de l'eclat de la surface, le long d'un rayon, pour les radiations de longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},5062$:

ρ......	0,00	0,20	0,40	0,55	0,65	0,75	0,825	0,875	0,92	0,95	0,97
E......	1,0000	0,9891	0,9510	0,8998	0,8516	0,7871	0,7196	0,6605	0,5909	0,5289	0,4719.

Arrêtant le développement (1) au terme en $(1-\rho^2)^2$, la méthode des moindres carrés donne

$$
\begin{aligned}
A_0 &= 0,257379,\\
A_1 &= 0,941025,\\
A_2 &= -0,255333,\\
A_3 &= 0,076874,\\
A_4 &= -0,019945.
\end{aligned}
$$

Les éclats calculés par la formule sont les suivants :

ρ......	0,00	0,20	0,40	0,55	0,65	0,75	0,825	0,875	0,92	0,95	0,97
E......	1,0000	0,9882	0,9505	0,9003	0,8521	0,7865	0,7195	0,6607	0,5911	0,5285	0,4721.

Ils diffèrent des données expérimentales, résumées dans le premier Tableau, de résidus très faibles qui ne dépassent pas l'ordre de grandeur de la précision des observations.

L'expression (1) de E se prête à une application intéressante, concernant les étoiles dont les diamètres peuvent être directement mesurés par la méthode interférentielle fondée sur une remarque énoncée par Fizeau ([2]).

Cette méthode ([3]) repose sur l'observation des franges d'Young qui se produisent au foyer d'une lunette, dirigée sur une source lumineuse lointaine, de faible diamètre angulaire ε, dont l'objectif est recouvert d'un écran percé de deux fentes égales et parallèles. La théorie et l'expérience montrent que la netteté des franges diminue, lorsqu'on augmente graduellement la distance l des centres des fentes; elles disparaissent totalement au

---

([1]) C.-G. ABBOT, F.-E. FOWLE and L.-B. ALDRICH, *On the distribution of radiation over the sun's disk and new evidence of the solar variability* (*Smithsonian miscellaneous collections*, vol. 65).

([2]) *Comptes rendus*, Rapport sur le prix Bordin pour 1868.

([3]) HAMY, *Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an* 1919 (notice B).

moment où l atteint une valeur telle que

$$\varepsilon = 1{,}22\,\frac{\lambda}{l}, \tag{2}$$

λ étant la longueur d'onde des radiations admises dans l'œil de l'observateur. Cette relation suppose d'ailleurs essentiellement que la source est uniformément éclairée. Dans cette hypothèse, la mesure de la distance des fentes qui correspond à l'évanouissement des franges, fait connaître la valeur du diamètre ε, si cette distance est suffisamment grande par rapport à la largeur commune des deux fentes. La relation (2) montre qu'il faudrait pouvoir éloigner les fentes à plus de 12^{m}, pour mesurer un diamètre voisin de $0'',01$. En conséquence, aucun instrument existant ne peut servir à étudier directement le diamètre de sources d'aussi faible étendue angulaire. Mais il y a un moyen détourné, d'application d'ailleurs difficile, de rendre une lunette utilisable, pour un pareil objet. Il consiste à ramener, par des réflexions sur des miroirs plans, deux faisceaux émanant de la source et primitivement très écartés à pénétrer parallèlement, dans l'instrument, avec une très faible différence de marche. L'écartement des faisceaux primitifs joue alors le rôle de la distance l, dans la formule (2). C'est par un dispositif de ce genre, organisé par A. Michelson, que le diamètre de l'étoile α Orion, supposée d'éclat uniforme, a été mesuré par Pease et Anderson, à l'Observatoire du mont Wilson.

L'application de la méthode interférentielle peut s'étendre aux étoiles entourées d'une atmosphère absorbante dont la surface n'est pas uniformément lumineuse. Il est même possible de déterminer à la fois la valeur du diamètre et les variations d'éclat superficiel de l'astre, le long d'un rayon, en prenant comme point de départ les valeurs, supposées observées, du rapport des intensités des maxima et minima des franges, correspondant à des valeurs connues de l'écartement des fentes. Appelons l la distance des fentes qui correspond à l'évanouissement des franges. Le rapport de l'intensité des maxima à celle des minima est alors égal à 1. Désignons par K_i le rapport de ces intensités, lorsque la distance des fentes a pour valeur l_i, et par α_i le rapport connu $\frac{l_i}{l}$. Si l'on pose $m = \pi\frac{l\varepsilon}{\lambda}$ et $m_i = \pi\frac{l_i\varepsilon}{\lambda}$, ε étant le diamètre de l'astre, on a $m_i = m\alpha_i$. Égalant à K_i l'expression analytique donnant, en fonctions des constantes A de la formule (1), le rapport de l'intensité des maxima à celle des minima, pour la distance des fentes l_i, on est conduit à une relation de la forme suivante, dans laquelle les fonctions f et F sont

connues,

(3) $$A_0[f_0(m_i) - K_i F_0(m_i)] + A_1[f_1(m_i) - K_i F_1(m_i)] + \ldots = 0$$

qui fournit autant d'équations linéaires auxquelles sont assujettis les A que l'on possède d'observations du rapport K. L'exemple donné ci-dessus, dans le cas du Soleil, montre d'ailleurs que l'on peut réduire à quelques termes seulement l'expression (1) de E. D'une façon générale, si l'on possède n observations du rapport K, on conservera $A_0, A_1, \ldots, A_{n-1}$, dans la formule générale. Ces n constantes qui ne sont pas toutes nulles devant vérifier n équations linéaires homogènes, le déterminant ayant pour éléments les coefficients des A est nécessairement nul. Soit $m = \mu$ la plus petite racine positive de l'équation en m ainsi obtenue, la relation $\mu = \pi \frac{l\varepsilon}{\lambda}$ fournit la valeur exacte du diamètre ε. Faisant $m = \mu$, dans les n équations linéaires, ces équations se réduisent à $n - 1$ distinctes qui permettent d'évaluer les rapports $\frac{A_1}{A_0}, \frac{A_2}{A_0}, \ldots, \frac{A_{n-1}}{A_0}$. Le problème est ainsi complètement résolu.

La solution de la question se ramène, en somme, à la discussion d'une équation transcendante en m. Cette équation ne peut fournir la valeur de μ que par des substitutions numériques suffisamment serrées et un calcul d'interpolation. μ prend d'ailleurs la valeur $1,22\pi$, dans le cas où la surface de l'astre est uniformément éclairée.

Les fonctions f et F, figurant dans l'équation en m, dépendent d'intégrales de la forme $\int_0^1 (1 - x^2)^{p+\frac{1}{2}} \cos qx\, dx$, où p est un entier positif ou nul et q un nombre peu élevé. Toutes les intégrales obtenues, en faisant varier p, s'expriment en fonction de celles qui correspondent à $p = 1$ et à $p = 0$. Cette dernière a d'ailleurs été mise en table; elle intervient dans la théorie de la diffraction par une ouverture circulaire.

L'application des considérations précédentes à l'étoile géante Beltégeuse serait particulièrement intéressante. Il est en effet difficile *a priori* de se faire une idée de ce que peut être l'atmosphère d'une étoile aussi immense et dans un état de condensation aussi peu avancé.

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE. — *L'accoutumance du ferment lactique aux poisons.* (*Spécificité, simultanéité et alternance*). Note de MM. **Charles Richet, Eudoxie Bachrach** et **Henry Cardot.**

Ayant établi ce fait fondamental, que le ferment lactique s'accoutume aux milieux toxiques dans lesquels on l'a ensemencé, nous avons étudié

cette accoutumance d'une manière plus approfondie, aux points de vue de la spécificité, de la simultanéité et de l'alternance.

I. *Spécificité.* — L'accoutumance est spécifique, en ce sens que le ferment accoutumé à tel poison déterminé n'est pas accoutumé à tel autre. Voici, pris parmi beaucoup d'autres, des nombres qui le prouvent (¹) :

Spécificité de l'accoutumance (²).

	Teneur de la solution de culture en AsO^4K^3.		
	0g,05.	0g,45.	0g,85.
Souche accoutumée à AsO^4K^3	86	50	37
Souche accoutumée à $TlNO^3$	68	0	0

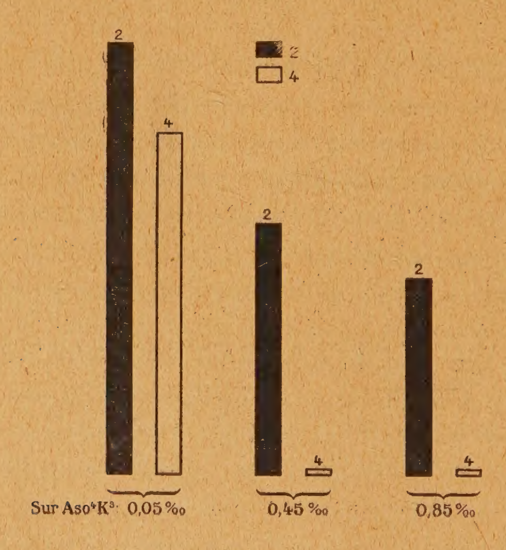


Fig. 1.

Ainsi les seuls ferments pouvant pousser sur les solutions arsénicales toxiques sont ceux qui sont accoutumés à l'arsenic, et il n'y a pour pousser

(¹) Si la lecture de ces chiffres paraît ardue, on se reportera aux nombreux graphiques que nous donnons ici, lesquels rendront extrêmement simple la compréhension.

(²) Les nombres indiquent l'acidité de la liqueur fermentée après 22 heures de fermentation. Ils sont toujours rapportés à 100, 100 étant la quantité d'acide produite dans le même temps par une souche normale ensemencée sur milieu normal. Les quantités pondérales indiquées pour le poison sont toujours rapportées à 1l de la solution.

sur les solutions cadmiques toxiques que les ferments accoutumés au chlorure de cadmium.

Spécificité de l'accoutumance.

	Teneur de la solution de culture				
	en $CdCl^2$.		ou en AsO^4K^3.		
	$0^g,25$.	$0^g,50$.	$0^g,25$.	$0^g,50$.	1^g.
Souche normale	0	2,5	0	0	0
Souche arsenicale [1]	0	0	60	31	14
Souche cadmique...........	87	45	0	0	0

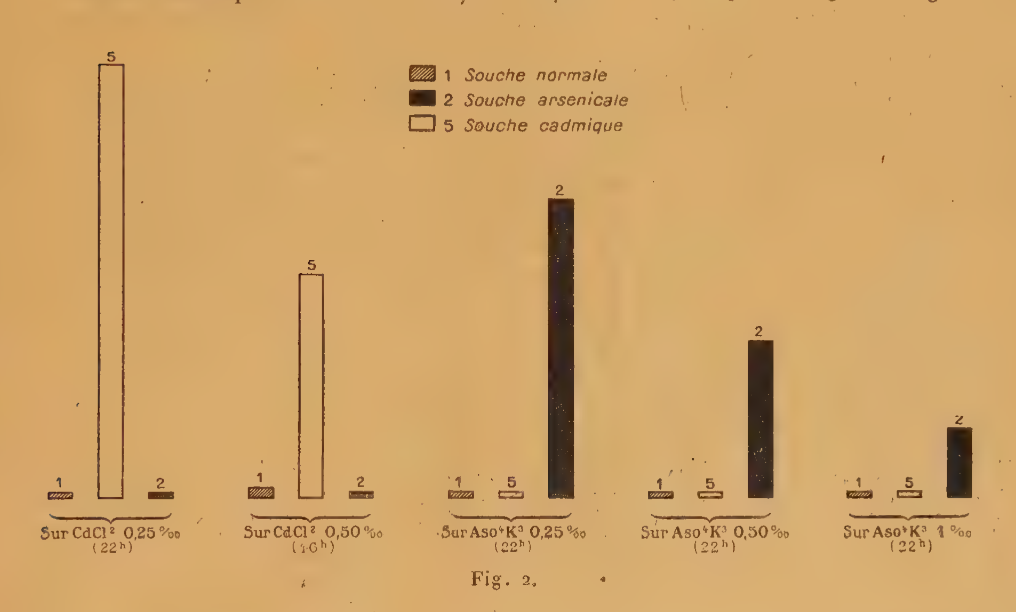


Fig. 2.

De même, la souche habituée au thallium n'est accoutumée ni à l'arsenic ni au cadmium. L'accoutumance est étroitement spécifique.

II. *Simultanéité.* — Il s'agissait de savoir si le ferment peut s'accoutumer simultanément à deux poisons. La réponse a été nettement positive.

---

(1) Nous appelons, pour simplifier, souche *arsenicale*, la souche qui a été, par une longue série de cultures, accoutumée à l'arséniate de K; souche *cadmique*, la souche qui a été, de même, accoutumée au $CdCl^2$, etc.

	Simultanéité de l'accoutumance (*fig.* 3)			
	sur AsO^4K^3.			sur $CdCl^2$.
	0g,25.	0g,50.	1g.	0g,25.
Souche normale	o	o	o	o
Souche arsenicale	60	31	14	»
Souche cadmique	»	»	»	87
Souche mixte, c'est-à-dire simultanément arsenicale et cadmique	59	33	12	68

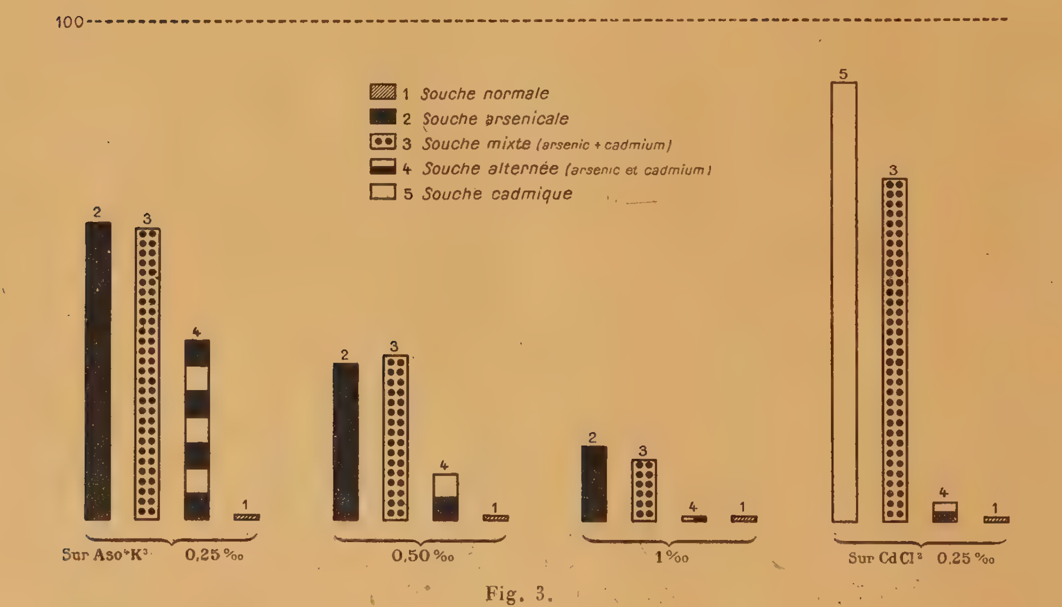


Fig. 3.

Donc la présence de l'arsenic ne gêne en rien l'accoutumance au cadmium, et le ferment est accoutumé simultanément à l'arsenic et au cadmium.

De même, si au lieu de $CdCl^2$ on ajoute à l'arsenic du nitrate de thallium, l'accoutumance à l'arsenic n'est nullement gênée.

	Simultanéité de l'accoutumance (*fig.* 4) sur AsO^4K^3.			
	0g,05.	0g,45.	0g,85.	1g,25.
Souche arsenicale	86	50	37	39
Souche mixte (As^3O^4 et $TlNO^3$)	86	55	38	36

Déjà l'adaptation héréditaire du protoplasma de la cellule microbienne à un poison était un fait très surprenant, mais l'adaptation à deux poisons agissant simultanément est plus extraordinaire encore.

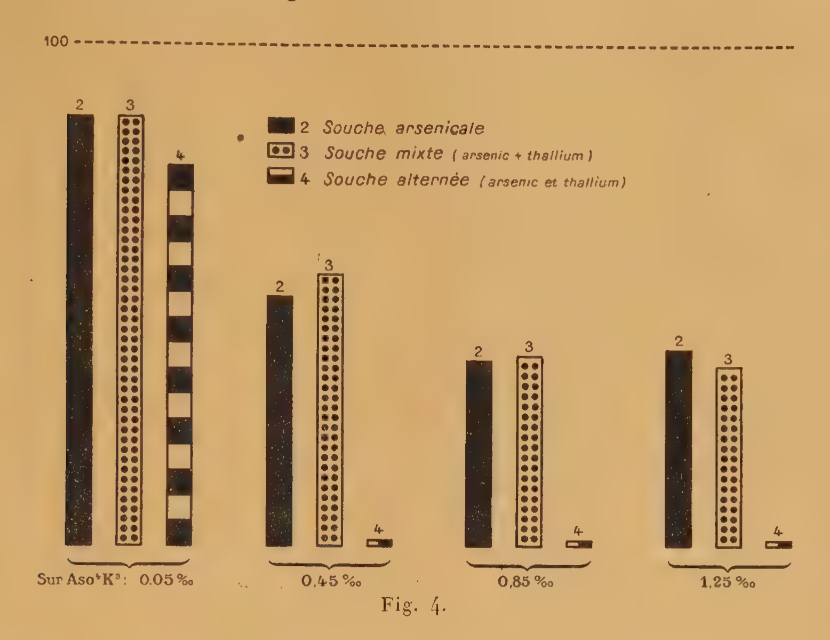


Fig. 4.

III. *Alternance de l'accoutumance.* — Après avoir prouvé l'accoutumance *simultanée* à deux poisons, nous avons étudié l'accoutumance *alternée*.

Voici comment fut instituée l'expérience :

Après que le ferment a végété pendant vingt-quatre heures sur de l'arséniate de K, on le fait végéter pendant le même temps sur $CdCl^2$; puis de nouveau sur AsO^4K^3, et l'on alterne ainsi toutes les vingt-quatre heures pendant plusieurs jours (onze jours).

Au bout de ce temps, on constate que le ferment est encore habitué aux deux toxiques, mais plus faiblement que lorsque l'accoutumance avait été simultanée, sans être interrompue par des alternances.

	Accoutumance alternée A (*fig.* 4) sur AsO^4K^3.			
	$0^g,05$.	$0^g,45$.	$0^g,85$.	$1^g,25$.
Souche mixte simultanée (arsenic et thallium)..	86	55	38	36
Souche alternée (arsenic et thallium).........	76	0	0	0

B (*fig.* 3)

	sur AsO^4K^3. 0g,25.	sur AsO^4K^3. 0g,50.	sur AsO^4K^3. 1g.	sur $CdCl^2$. 0g,25.
Souche mixte simultanée (arsenic et $CdCl^2$)...	59	33	12	68
Souche alternée (arsenic et $CdCl^2$)...........	36	9	0	3
Souche normale..........................	0	0	0	0

C (*fig.* 5)

	sur AsO^4K^3 1 °/₀₀.	sur $CdCl^2$ 0g,50 °/₀₀.
Souche mixte simultanée (arsenic et $CdCl^2$)...	33	27
Souche alternée (arsenic et $CdCl^2$...........	22	24
Souche normale..........................	0	2,5

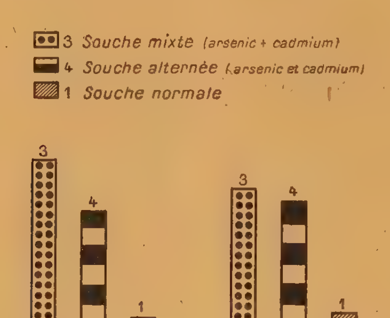


Fig. 5 (*).

(*) Les graphiques ci-joints se comprennent sans difficulté.

La hauteur des colonnes indique les proportions d'acide lactique formé.

La figure 1 montre la spécificité de l'accoutumance à l'arsenic, (2) représente la souche accoutumée à l'arsenic, (4) une souche accoutumée au thallium; on voit que cette dernière n'est pas accoutumée à l'arsenic.

La figure 2 montre à quel point l'accoutumance est forte pour $CdCl^2$ et AsO^4K^3. Elle montre aussi la spécificité, puisque les souches qui ont poussé sur AsO^4K^3 ne sont pas du tout accoutumées à $CdCl^2$, de même que les souches qui ont poussé sur $CdCl^2$ ne sont pas du tout accoutumées à AsO^4K^3.

Il est intéressant de constater que, même à des doses de 1g d'arséniate de K, le croît est encore plus fort pour le ferment accoutumé qu'aux doses de 0,25 pour le ferment non accoutumé.

La figure 3 montre que le mélange des deux poisons (souche mixte) n'empêche ni l'un ni l'autre d'amener l'accoutumance. Si la culture a été alternée (c'est-à-dire ayant poussé un jour sur $CdCl^2$, le lendemain sur AsO^4K^3, et ainsi de suite) il y a encore accoutumance — mais très légère accoutumance — à l'un et l'autre des deux poisons.

C'est aussi ce que montre très nettement la figure 4. On y voit très nettement que l'addition de nitrate de thallium n'a nullement modifié l'accoutumance à l'arsenic.

La figure 5 montre que l'alternance de deux poisons (arsenic et cadmium) est moins favorable à l'accoutumance que leur action simultanée continue.

La ligne en traits interrompus placée au haut des figures 3, 4, 5 indique graphiquement la proportion d'acide lactique formé par la souche normale sur milieu normal.

Ainsi l'alternance d'un antiseptique, sans détruire tout à fait l'accoutumance, la diminue notablement. C'est là un fait important au point de vue pratique, puisqu'il prouve que l'alternance des antiseptiques, laquelle empêche les microbes infectieux de s'accoutumer aux poisons, est un traitement antiseptique de choix, comme l'un de nous l'a d'ailleurs indiqué (¹).

IV. *Conclusions.* — 1° L'accoutumance des microbes à tel ou tel poison, transmise par hérédité, est *spécifique*, c'est-à-dire limitée au poison auquel ils ont été accoutumés.

2° La cellule microbienne peut s'accoutumer *simultanément* à deux poisons, et cette accoutumance à chacun de ces poisons est, dans certains cas au moins, aussi facile et aussi complète quand il y en a deux que quand il n'y en a qu'un seul.

3° Quand, au lieu de faire pousser simultanément les cultures sur les deux toxiques pour développer l'accoutumance, on alterne leurs cultures, l'accoutumance se produit encore, mais à un degré moindre que si l'action des toxiques était continue, au lieu d'être interrompue par des alternances (²).

PHYSIOLOGIE PATHOLOGIQUE. — *Recherches sur l'insuffisance protéopexique du foie dans l'hépatite dysentérique.* Note de MM. **F. Widal**, **P. Abrami** et **J. Hutinel**.

Après avoir fait connaître, par une série de recherches expérimentales dont les résultats ont été communiqués ici même, l'existence d'une fonction nouvelle du foie, à laquelle nous avons donné le nom de « fonction protéopexique », nous avons montré les services que pourrait rendre au médecin l'exploration de cette fonction, en lui permettant de dépister les moindres altérations de la glande hépatique. Grâce, en effet, à une épreuve des plus simples, celle de l'hémoclasie digestive, qui consiste, après avoir fait absorber au sujet, à jeun, un verre de 200^{g} de lait, à rechercher, par quelques numérations successives de ses globules blancs, l'existence ou l'absence

(¹) Charles Richet, *De l'emploi alternant des antiseptiques* (*Comptes rendus*, t. 163, 1916, p. 589-591).

(²) Nos conclusions ne sont dues qu'à l'expérimentation sur le ferment lactique et sur quelques poisons. Mais il extrêmement probable que ces faits peuvent être généralisés, c'est-à-dire étendus à d'autres microbes et à d'autres toxiques. Il serait désirable que les nombreux expérimentateurs qui s'occupent de bactériologie entreprissent cette étude.

d'une crise hémoclasique, on apprécie si le foie exerce ou non sa fonction d'arrêt à l'égard des protéides incomplètement désintégrées que lui amène la veine porte à la suite de ce repas; en un mot, on décèle l'intégrité ou au contraire l'insuffisance de sa fonction protéopexique. Or, des recherches comparatives très nombreues nous ont permis d'établir que, de toutes les fonctions du foie, celle-ci, qui se prête le mieux à une exploration scientifique, est aussi la plus sensible à toutes les causes d'altération de l'organe hépatique. Nous avons fait voir que, non seulement l'insuffisance protéopexique se retrouve toutes les fois que d'autres fonctions du foie (la biliaire et l'uréogénique en particulier) sont atteintes, mais qu'elle apparaît dans bien des cas isolés, sans être accompagnée d'aucune des réactions qu'il est habituel de rencontrer au cours de l'insuffisance hépatique, et qu'elle constitue de la sorte le témoin le plus fidèle et le plus délicat de l'hépatisme latent.

Or il est une affection, dans laquelle la recherche de l'insuffisance protéopexique du foie présentait *a priori* un intérêt tout spécial : c'est l'amibiase hépatique. Alors même, en effet, que le parasite a déterminé les lésions massives de l'hépatite et provoqué un gros abcès, l'anatomie pathologique a montré depuis longtemps qu'il reste dans le foie des régions indemnes, où l'amibe n'a pas pénétré et qui conservent leur structure normale.

On pouvait donc supposer que la présence de ce tissu normal suffirait à contre-balancer l'action destructrice des foyers d'hépatite, et à assurer, au moins dans une certaine mesure, la persistance de la fonction protéopexique. Or c'est bien là ce qui se produit, en réalité.

Il était indiqué, tout d'abord, de rechercher l'influence que la dysenterie amibienne peut exercer elle-même, et en dehors de toute localisation apparente dans le foie, sur la fonction protéopexique. A cet égard, les résultats ont été constamment négatifs : chez *quatre* sujets, atteints d'entérite amibienne de date plus ou moins ancienne, et chez lesquels aucun symptôme d'hépatite n'avait jamais été constaté, l'épreuve de l'hémoclasie digestive, effectuée à différentes reprises, a donné les mêmes résultats que chez des sujets normaux. L'absorption des 200^g de lait n'a provoqué aucune crise hémoclasique.

Nous avons alors effectué la même recherche sur des sujets atteints d'amibiase non seulement intestinale, mais hépatique. L'un d'eux, porteur depuis plusieurs mois d'une colorectite dysentérique avec amibes nombreuses dans les selles, présente en outre tous les symptômes d'une *hépatite non encore suppurée :* le foie est gros, douloureux spontanément et à la pression, mais la fièvre est absente.

Les urines renferment des traces d'urobiline, pas de sels biliaires. L'épreuve de l'hémoclasie digestive est absolument négative; l'ingestion du lait provoque au contraire une hyperleucocytose nette, élevant le taux des globules blancs de 15400 à 18000.

Trois autres malades sont porteurs d'*abcès du foie* en évolution. Chez l'un d'eux, l'opération a permis d'évacuer 250^g de plus du lobe gauche; le foie dépassait de trois à quatre traces de doigt les fausses côtes. Les urines renfermaient de l'urobiline, sans sels biliaires. L'épreuve de l'hémoclasie digestive effectuée le matin même de l'intervention, a montré l'intégrité de la fonction protéopexique du foie.

Chez un second malade, l'abcès forme une tuméfaction volumineuse sur la face antérieure du lobe droit; les urines ne renferment que de l'urobiline. L'épreuve de l'hémoclasie digestive donne un résultat négatif : après absorption des 200^g de lait, on note au contraire de l'hyperleucocytose, de 18000 à 21000.

Enfin, chez un troisième malade, atteint lui aussi d'hépatite suppurée, le résultat est le même : la fonction protéopexique du foie est indemne.

Ainsi donc, non seulement l'hépatite amibienne non encore suppurée n'altère pas la fonction protéopexique du foie, mais celle-ci se montre normale, même lorsqu'une partie importante du parenchyme hépatique a été détruite par la suppuration. Sur quatre malades atteints de complication hépatique amibienne, quatre fois l'épreuve de l'hémoclasie digestive a fourni des résultats absolument normaux.

Ces faits tendent à établir, ainsi que nous l'avions indiqué précédemment, que, dans les altérations du foie dysentérique, on ne saurait mesurer le degré de l'adultération fonctionnelle à la gravité apparente des lésions; quelle que soit leur étendue, ces lésions restent en réalité locales. L'amibe dysentérique n'agit pas par des toxines qui diffusent au loin; elle exerce une action de nécrose qui se produit uniquement à son contact; au delà des foyers d'hépatite, même suppurée, des régions subsistent dont les cellules ont conservé leur pouvoir protéopexique. Elles suffisent à assurer la persistance de cette fonction importante du foie; et c'est pourquoi la crise d'hémoclasie digestive fait défaut dans ces conditions.

Un certain nombre de faits que nous avons observés chez ces sujets atteints de dysenterie amibienne sont en outre de nature à faire penser que non seulement, au cours de cette maladie, le foie conserve l'intégrité de sa fonction protéopexique, mais qu'il est même, fréquemment, plus résistant

qu'un foie normal aux causes qui, d'habitude, altèrent très rapidement cette fonction. Il en est ainsi de l'action des arsénobenzènes.

Nous avons fait voir en effet que, parmi toutes les causes capables de créer l'insuffisance protéopexique du foie, les arsénobenzènes, et en particulier le novarsénobenzol, occupaient la première place. Grâce à l'épreuve de l'hémoclasie digestive nous avons pu nous rendre compte que les altérations hépatiques sont constantes au cours du traitement par le 914; qu'elles apparaissent d'une façon très précoce et avec l'emploi de très faibles doses, et qu'elles sont susceptibles de persister plusieurs semaines après la cessation des injections. « Il semble même que de toutes les fonctions du foie, la fonction protéopexique soit une des plus fragiles à l'égard de l'intoxication par le novarsénobenzol; si, chez certains sujets, en effet, nous avons constaté, en même temps qu'une hémoclasie digestive, un certain degré d'urobilinurie, une réaction de Hay positive ou un abaissement du rapport azotémique, chez d'autres, par contre, ces derniers signes faisaient défaut, et, seule, l'existence de l'insuffisance protéopexique témoignait de l'altération hépatique. »

Or il est remarquable de constater que chez les sujets atteints de dysenterie amibienne que nous avons examinés, le foie supporte, au contraire, le plus souvent des doses parfois considérables de novarsénobenzol sans qu'apparaisse la moindre insuffisance protéopexique.

Ainsi, parmi nos quatre sujets atteints d'amibiase intestinale, deux ont été soumis à une cure novarsénicale, par injections intraveineuses. L'un a reçu $1^g,55$ de 914 en quatre fois, à huit jours d'intervalle; le second $1^g,30$, en trois fois. Or, chez l'un et l'autre, l'épreuve de l'hémoclasie digestive, recherchée à maintes reprises, pendant toute la durée du traitement et après sa cessation, n'a décelé aucune altération hépatique. Cependant le produit dont on se servait pour les injections (série E.2384) déterminait dans le même temps une insuffisance protéopexique manifeste chez quatre témoins, à la simple dose de $0^g,30$.

La même tolérance du foie à l'égard du 914 se retrouve chez notre malade atteint d'hépatite non suppurée et chez lequel l'hémoclasie digestive est également absente, bien que ce sujet vienne de subir tout récemment des cures intensives et prolongées de novarsénobenzol.

Ce n'est, semble-t-il, que lorsque l'on atteint, dans le traitement, une dose relativement élevée de 914, que l'insuffisance protéopexique fait son apparition. Ainsi, chez un de nos malades atteint d'abcès du foie et

opéré le 20 novembre 1920, l'hémoclasie digestive était absente le 8 janvier, alors qu'il venait de recevoir $1^g,65$ de novarsénobenzol; trois semaines plus tard, la dose totale étant montée à $2^g,55$, l'hémoclasie digestive devint positive.

Il semble donc bien que dans la dysenterie amibienne, non seulement le foie, même lorsqu'il est le siège de lésions métastatiques suppurées, conserve l'intégrité de sa fonction protéopexique, grâce, sans doute, à la persistance d'un grand nombre de cellules hépatiques normales, en dehors des foyers malades, mais que sa résistance même soit augmentée, puisqu'on le voit supporter, sans dommage, des doses de certains toxiques, comme les arsénobenzènes, qui, en quantité beaucoup plus faible, suffisent à rendre déficiente la fonction protéopexique d'un foie normal.

Les résultats ainsi observés au cours de l'hépatite amibienne s'opposent d'une manière frappante à ceux que l'on obtient dans les hépatites d'origine toxique, microbienne ou même circulatoire, où la fonction protéopexique de la cellule hépatique est au contraire, ainsi que nous l'avons montré, si facilement altérée. C'est ainsi que dans tous les cas d'ictères infectieux que nous avons étudiés, de même que dans l'asystolie hépatique ou à la suite de la narcose chloroformique, l'épreuve de l'hémoclasie digestive, recherchée chez le même sujet à différentes reprises, s'est montrée d'une constance, d'une précocité et d'une persistance remarquables. C'est qu'il s'agit là de lésions diffuses, dans lesquelles l'action des poisons, des toxines ou des troubles circulatoires, se fait sentir sans distinction et au même degré sur toutes les cellules du parenchyme hépatique. Au contraire, dans l'amibiase hépatique, les lésions nécrotiques, quelle que soit leur étendue, restent toujours des lésions locales, et il reste toujours dans le foie un nombre suffisant de cellules normales pour assurer, pour une quantité déterminée d'aliments azotés, la persistance de la fonction protéopexique. Tout semble même se passer, nous l'avons vu, comme si, par une sorte de vicariance, ces cellules restées intactes, acquéraient une résistance plus grande qu'à l'état normal.

NOMOGRAPHIE. — *Sur l'examen comparatif de diverses méthodes nomographiques.* Note de M. D'OCAGNE.

Il ne saurait me convenir de prolonger devant l'Académie un débat dont je n'ai, au reste, pas été l'initiateur, et qui porte sur une question d'un

caractère beaucoup trop spécial pour retenir plus longtemps son attention.

Je me contenterai donc pour l'instant, tout en maintenant expressément les termes de la Note que j'ai donnée récemment dans les *Comptes rendus* (t. 174, 1922, p. 146), de renvoyer, pour de plus amples développements sur le sujet, à la publication que j'ai annoncée dans cette Note et que j'aurai, dès qu'elle aura paru, l'honneur d'offrir à l'Académie.

SPECTROSCOPIE. — *Sur l'évolution du spectre du magnésium sous l'influence d'actions électriques croissantes. Applications à l'Astrophysique.* Note (1) de MM. **A. de Gramont** et **G.-A. Hemsalech.**

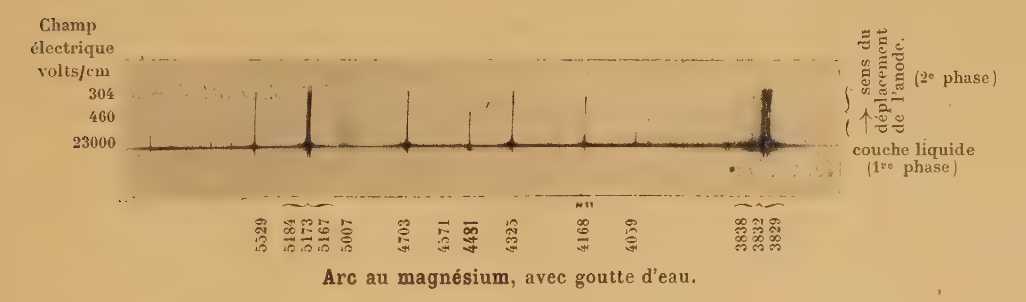
Deux raies indigo du magnésium, qui ont respectivement pour longueurs d'ondes internationales 4481,2 raie d'étincelle, et 4351,9 (6e terme de la série de Rydberg), raie de l'arc, jouent un rôle important dans la classification des étoiles et dans les hypothèses relatives aux températures de celles-ci. Le contraste de ces raies est frappant. La raie λ 4481 considérée par Scheiner et par Lockyer comme révélatrice des plus hautes températures stellaires, est, avec la raie [K] du calcium, une des premières lignes métalliques à apparaître dans les étoiles à hélium ayant des accointances avec les nébuleuses. Sa présence, comme raie brillante, dans les étoiles nouvelles, a été récemment confirmée, notamment dans la nova n° II des Gémeaux par M. F.-J.-M. Stratton. La forte intensité de cette raie persiste dans les étoiles à hydrogène, mais elle décroît dans les groupes suivants de la série évolutive, lorsque les spectres métalliques apparaissent et se développent. Elle finit par disparaître, au milieu d'eux, dans les étoiles du type solaire. La raie λ 4352 de l'arc est, au contraire, toujours considérée comme indiquant des températures stellaires relativement basses. Il nous semble que, comme terme de comparaison, la raie λ 4352 dont les variations sont peu sensibles, pourrait être avantageusement remplacée par la raie λ 4571,1 qui est une raie de flamme, puis d'arc, et enfin d'étincelle, où elle s'affaiblit notablement.

Ces deux lignes λ 4352 et λ 4571 s'accompagnent dans l'évolution stellaire. Elles apparaissent dans Procyon (groupe F5 de Harvard) étoile intermédiaire entre les étoiles à hydrogène, et celles du type solaire, où les raies renforcées des proto-métaux de Lockyer sont aussi développées que les raies de l'arc. On y trouve aussi les triplets [*b*] λ 5184 et λ 3838, qui ont

(1) Séance du 23 janvier 1922.

d'ailleurs fait leur apparition dans les étoiles à hydrogène, de sorte que le spectre du magnésium, étudié dans le tableau qu'on trouvera plus loin, est au complet dans Procyon. Les deux raies λ 4571 et λ 4352 persistent dans les stades plus avancés de l'évolution stellaire et sont bien marquées dans les groupes M. Il serait particulièrement intéressant de tenir compte des faits que nous allons présenter ici, en comparant dans les spectres des groupes M ceux des étoiles géantes à ceux des étoiles naines, afin de chercher si les raies du magnésium ne se comportent pas différemment dans ces deux catégories opposées.

Dans une Note antérieure [1], nous avions attiré l'attention sur ce fait remarquable que la raie d'étincelle λ 4481 s'arrête brusquement, ou tout au moins accuse une chute subite et très marquée d'intensité, à un certain moment, pendant la deuxième phase d'un arc à goutte liquide (voir figure ci-dessous), tandis que toutes les autres raies du même spectre (raies d'arc et raies de flamme) continuent, sans subir aucun changement dans leur émission. Nous avons démontré de plus que cet événement a toujours lieu quand l'intensité du champ électrique agissant est tombé à environ 500 volts : cm; nous en avons conclu que l'émission de la raie λ 4481 est régie par des forces



Arc au magnésium, avec goutte d'eau.

électriques et qu'il existe une valeur critique de cette force au-dessous de laquelle cette raie n'est plus émise. Dans une autre série d'expériences faites avec des fours électriques, l'un de nous a mis en évidence un fait analogue pour les triplets λ 3838 et λ 5184 [2]. Ces triplets sont fortement émis dans l'espace au-dessous de la lame de graphite jusqu'au bord inférieur de la frange rouge produite comme l'on sait par le courant thermo-électronique. A cet endroit ils subissent une chute brusque d'intensité et apparaissent comme raies faibles dans la partie inférieure de l'espace protégé. D'un autre

---

(1) A. de Gramont et G.-A. Hemsalech, *Comptes rendus*, t. **173**, 1921, p. 505.

(2) G.-A. Hemsalech, *Philosophical Magazine*, t. **40**, 1920, p. 296.

côté la raie de la flamme λ4571 ne subit aucun changement en passant de la surface inférieure de la lame vers le bas à travers la frange rouge. Le bord inférieur de la frange marque ainsi le lieu où la chute de potentiel atteint une valeur critique au-dessous de laquelle l'émission des triplets ne s'effectue plus au moyen d'actions électriques. La faible émission qui subsiste est provoquée, comme dans les enveloppes des flammes, par des actions thermochimiques. La résistance des vapeurs du magnésium n'étant pas évaluable à ces hautes températures, il n'a pas été possible de déterminer la valeur critique de la chute du potentiel. Cependant ces raies apparaissent déjà avec un champ de moins de 5 volts : cm. Dans les mêmes conditions les raies de la série nébuleuse de Rydberg sont absentes. Nous les avons obtenues dans l'arc direct avec un champ moyen de 70 volts : cm.

La valeur critique du champ pour l'excitation des raies de la série de Rydberg doit donc être comprise entre 5 et 70 volts : cm. Nous savons en outre, d'après les observations de M. de Watteville [1], que la distinction entre les raies de la flamme et les triplets du magnésium est aussi nettement mise en évidence, dans la flamme air-gaz d'éclairage. Les raies des triplets (raies d'arc) s'arrêtent brusquement à la hauteur du cône bleu, tandis que les raies de la flamme continuent, sans aucune modification appréciable, dans les parties chaudes de l'enveloppe au-dessus du cône. Les résultats donnés par le four concordent donc parfaitement, en ce qui concerne la différence d'origine des raies de flamme et des raies d'arc, avec ceux obtenus avec les flammes.

Nous croyons pouvoir conclure de ce qui précède, que les centres d'émission du magnésium peuvent exister dans cinq états différents, dont chacun est caractérisé par l'apparition unique, ou la prédominance dans le spectre, des types de raies suivants :

Premier état : raies de la flamme.

Deuxième état : raies d'arc (triplets de série).

Troisième état : raies d'arc (série nébuleuse de Rydberg).

Quatrième état : raies d'étincelle fines.

Cinquième état : raies d'étincelle élargies.

Le dernier état correspond au proto-magnésium de Lockyer. Comme nous venons de le voir dans deux cas, le passage d'un état à l'autre avec des forces électriques décroissantes s'accomplit brusquement, à savoir le passage du quatrième au troisième et celui du deuxième au premier état.

---

[1] C. DE WATTEVILLE, *Thèse de Doctorat*, Paris, 1904, p. 34.

	Raie de la flamme λ 4571.	Raies des triplets à λ 3838 et λ 5184 [*b*].	Série de Rydberg λ 5528; λ 4704 et λ 4352.	Raie d'étincelle λ 4481.
1. *Sans champ électrique externe.*				
Flamme air-gaz d'éclairage; temp. = 1850° C.	prédominante	absentes	absente	absente
Flamme oxygène-hydrogène; temp. = 2500° C.	assez forte	fortes	absente	absente
Flamme oxygène-acétylène; temp. = 2700° C.	assez forte	fortes	absente	absente
Cône bleu de la flamme air-gaz d'éclairage; température = env. 1700° C. (actions chimiques).	assez forte	fortes	absente	absente
2. *Champs électriques faibles.*				
Four électrique à tube de résistance; intensité du champ environ de 0,5 à 2 volts : cm.	forte	fortes	incertaine	absente
Frange rouge du four électrique à lame unique; champ de 6 à 8 volts : cm.	relativement faible	fortes	absente	absente
3. *Champs électriques modérés.*				
Arc électrique ordinaire dans l'air; champ de 70 à 200 volts : cm.	relativement faible	fortes	assez forte et nébuleuse	traces près des électrodes
Arc ordinaire dans l'azote; champ environ de 150 volts : cm (actions chimiques).	relativement faible	fortes	très marquée et raies assez bien définies	relativement faible mais bien définie
4. *Champs électriques assez forts.*				
Seconde phase de l'arc à goutte liquide; champ de 500 volts : cm et plus.	relativement faible	fortes	fortes, quelquefois diffuses et ailées	forte et assez étroite
5. *Champs électriques intenses.*				
Première phase de l'arc à goutte liquide; champ au-dessus de 10 000 volts : cm.	relativement faible	très fortes	fortes et ailées du côté rouge	très intense et élargie symétriquement
Phase des oscillations d'une étincelle de capacité; champ au-dessus de 10 000 volts : cm.	relativement faible	très fortes	fortes (4352 assez forte) et ailées du côté rouge	très intense et élargie symétriquement

Le passage du cinquième au quatrième état se fait généralement moins subitement que les précédents. Quant au changement du troisième au deuxième état, le point critique n'a pas encore pu être déterminé.

A l'aide de toutes ces données et de quelques observations de MM. Hartley et Ramage sur le spectre de la flamme oxhydrique ([1]) ainsi que de celles de M. King sur le spectre du four électrique ([2]) nous avons établi le Tableau ci-dessus, qui donne un aperçu général du développement du spectre du magnésium à travers les sources lumineuses de nos laboratoires. Nous y avons mis en évidence le rôle important joué par les forces électriques dans l'excitation des principaux types de raies.

On le voit, les seules raies du magnésium émises dans cette partie du spectre, en l'absence d'actions électriques ou chimiques spéciales, sont la raie de la flamme $\lambda 4571$ et les triplets des séries. Mais, tandis que la première n'est pas sensiblement influencée par les actions électriques, les triplets, au contraire, croissent en intensité avec l'augmentation du champ électrique. On constate, en outre, que les actions chimiques spéciales du cône bleu de la flamme air-gaz d'éclairage provoquent déjà l'émission des triplets à une température à laquelle des actions thermiques seules seraient encore incapables de l'exciter. Si, dans le spectre d'une source de lumière, les triplets du magnésium apparaissent très intenses par rapport à la raie $\lambda 4571$ on serait donc en droit de soupçonner la présence, dans cette source, d'actions chimiques spéciales (telles que la formation de nitrure de magnésium) ou d'actions électriques. Comme l'indique le second groupe du Tableau, les actions électriques, dans ce cas, peuvent être assez faibles, pourvu que la vapeur métallique soit à une haute température. Si la source émet, outre ces deux types de raies, également les raies de la série de Rydberg et la raie d'étincelle $\lambda 4481$, il est évident, d'après le Tableau, que les actions électriques dans la source doivent être plus vigoureuses. Si la raie $\lambda 4481$ est élargie symétriquement et si les raies de la série de Rydberg sont ailées du côté rouge, on pourra en conclure que la source est le siège de courants électriques à chutes de potentiel rapides, provoquées par la présence de champs électriques intenses. La température des vapeurs métalliques dans ces conditions doit être sans doute relativement basse. Si, d'un autre côté, $\lambda 4481$ est une ligne fine et relativement

---

([1]) W. N. HARTLEY et H. RAMAGE, *Transactions Royal Dublin Society*, 2[e] série, vol. 7, 1898-1901, p. 343.

([2]) A. S. KING, *Astrophysical Journal*, vol. 48, 1918, p. 79.

faible par rapport aux triplets et aux raies de la série de Rydberg, et si ces dernières sont sans ailes, et assez bien définies, il est probable que l'émission de ces radiations est causée par l'opération, conjointe et simultanée dans la source, de forces électriques modérées et d'actions chimiques spéciales. La température de la vapeur métallique dans cette source sera plus élevée que dans le cas précédent.

Ces considérations nous démontrent que, si nous désirons tirer des conclusions relatives aux forces qui agissent dans une source lumineuse quelconque, nous ne devrons pas nous laisser guider par le seul fait que certains types de raies sont présents ou prédominent dans le spectre de la source, mais que nous devrons toujours porter notre attention tout spécialement sur le caractère des raies. Il serait, de plus, également utile de tenir compte de la présence de certains gaz, tels que l'hydrogène et l'azote dans la source lumineuse, et de noter le *caractère* des raies ou bandes de ces gaz. Enfin, il sera important d'examiner si le phénomène lumineux qu'on observe est de nature permanente ou transitoire, avec des changements spectraux rapides.

Comme nous l'avons démontré, *les effets spectraux des champs électriques intenses sont surtout marqués dans l'étape initiale d'un phénomène lumineux* (arc ou étincelle) *quand la température et la conductibilité électrique des vapeurs sont encore peu élevées.* Au fur et à mesure que la température augmente, l'émission qui dépend de la présence de chutes de potentiels rapides, diminue ou même disparaît.

En conséquence, *il serait dangereux de conclure qu'une étoile possède une haute température parce que des raies d'étincelle prédominent dans son spectre*, et une telle conclusion serait particulièrement difficile à soutenir dans le cas des premières étapes du développement d'une étoile nouvelle ou nova.

Il nous semble pouvoir estimer, comme l'un de nous l'a déjà fait ([1]) ailleurs, qu'il est possible de remplacer, en Astrophysique, les expressions *températures élevées* par *grandes différences de potentiel* et, étoiles chaudes par étoiles à puissantes décharges électriques, les raies des étoiles dites très chaudes étant, comme nous l'avons vu, produites par des décharges électriques à grandes différences de potentiel. Ces étoiles pourraient aussi être désignées comme *étoiles à hautes tensions.*

([1]) A. DE GRAMONT, *Sur les spectres stellaires* (*Annuaire du Bureau des Longitudes pour* 1922).

GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE. — *Sur les réseaux qui sont plusieurs fois Ω_{00}.* Note de M. C. GUICHARD.

Je désigne par $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_{2n}$; $\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_{2n}$ les paramètres normaux des tangentes à un réseau situé dans un espace d'ordre $2n$. On sait que l'on a

$$\frac{\partial\xi}{\partial v} = n\eta, \qquad \frac{\partial\eta}{\partial u} = m\xi.$$

Cela posé, le réseau sera Ω_{00} (voir ma Note du 16 janvier) si l'on a

$$[\xi, \eta] = -mU + nV.$$

Si le réseau est Ω_{00} d'une autre manière, on aura aussi

$$[\xi, \eta] = -mU_1 + nV_1.$$

En comparant, on voit que le rapport $\frac{m}{n}$ est le quotient d'une fonction de u par une fonction de v; par un choix convenable des variables indépendantes, on peut supposer $m = n$; c'est ce que je suppose désormais. Ces réseaux pour lesquels $m = n$ seront appelés des réseaux à *rotations égales*. On aura donc

(1) $$\frac{\partial\xi}{\partial v} = m\eta, \qquad \frac{\partial\eta}{\partial u} = m\xi,$$

(2) $$[\xi, \eta] = m[-U + V].$$

La formule (2) montre que l'on peut remplacer U et V par $U + \omega$ et $V + \omega$, ω étant une constante. D'où les conclusions :

Tout réseau plusieurs fois Ω_{00} est à rotations égales. Tout réseau Ω_{00} à rotations égales est d'une infinité de manières Ω_{00}.

A chaque valeur de ω, on peut faire correspondre (Note du 16 janvier) un déterminant L. Je désigne pour L_0 et L_ω les déterminants qui correspondent aux valeurs 0 et ω de ω; enfin pour simplifier l'écriture je suppose que les réseaux appartiennent à un espace d'ordre 4. Je pose

$$L_0 = \begin{vmatrix} x_1^1 & x_2^1 & x_3^1 & x_4^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 & x_4^2 \\ x_1^3 & x_2^3 & x_3^3 & x_4^3 \\ x_1^4 & x_2^4 & x_3^4 & x_4^4 \end{vmatrix} \qquad L_\omega = \begin{vmatrix} y_1^1 & y_2^1 & y_3^1 & y_4^1 \\ y_1^2 & y_2^2 & y_3^2 & y_4^2 \\ y_1^3 & y_2^3 & y_3^3 & y_4^3 \\ y_1^4 & y_2^4 & y_3^4 & y_4^4 \end{vmatrix}$$

Je désigne par a_k, b_k les valeurs de h et l pour la ligne de rang k du premier déterminant; par e_k, f_k les éléments analogues pour le second. On

aura

(3)
$$\begin{cases} \dfrac{\partial a_k}{\partial v} = m b_k, & \dfrac{\partial e_k}{\partial v} = m f_k, \\ \dfrac{\partial b_k}{\partial u} = m a_k, & \dfrac{\partial f_k}{\partial u} = m e_k; \end{cases}$$

(4)
$$\begin{cases} [x^k, \xi] = a_k \mathrm{U}, & [y^k, \xi] = e_k(\mathrm{U} + \omega), \\ [x^k, \eta] = b_k \mathrm{V}, & [y^k, \eta] = f_k(\mathrm{V} + \omega); \end{cases}$$

(5)
$$[e, f] = m\left[\frac{1}{\mathrm{U} + \omega} - \frac{1}{\mathrm{V} + \omega}\right].$$

L'équation (5) donne le résultat analytique suivant :

Si un système d'équations à relations égales

$$\frac{\partial \xi}{\partial v} = m\eta, \qquad \frac{\partial \eta}{\partial u} = m\xi$$

admet $2n$ *solutions* $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_{2n}$; $\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_{2n}$ *telles que*

$$[\xi, \eta] = m[-\mathrm{U} + \mathrm{V}],$$

elle admet une infinité de systèmes de $2n$ *solutions possédant la même propriété.*

Transformation. — Je détermine X par les équations compatibles

(6)
$$\frac{\partial \mathrm{X}}{\partial u} = a_1^2, \qquad \frac{\partial \mathrm{X}}{\partial v} = b_1^2.$$

Le point N qui a pour coordonnées $\frac{x'_1}{\mathrm{X}}, \frac{x'_2}{\mathrm{X}}, \frac{x'_3}{\mathrm{X}}, \frac{x'_4}{\mathrm{X}}$ décrit un réseau; les valeurs de h et l pour ce réseau sont $\frac{a_1}{\mathrm{X}}, \frac{b_1}{\mathrm{X}}$. On trouve facilement pour les paramètres normaux $|\xi|, |\eta|$ de ce réseau les valeurs

(7)
$$|\xi| = \xi - \frac{a_1}{\mathrm{X}} x', \qquad |\eta| = \eta - \frac{b_1}{\mathrm{X}} x'.$$

Je dis que ce réseau N est Ω_{00}, on a, en effet,

$$\left[\frac{x'}{\mathrm{X}}, |\xi|\right] = \frac{1}{\mathrm{X}}[x', \xi] = \frac{a_1}{\mathrm{X}} \mathrm{U},$$
$$\left[\frac{x'}{\mathrm{X}}, |\eta|\right] = \frac{1}{\mathrm{X}}[x', \eta] = \frac{b_1}{\mathrm{X}} \mathrm{V},$$

ce qui caractérise un réseau Ω_{00}. Les rotations $|m|$, $|n|$ de ce réseau se déduisent des équations (7). On trouve

(8)
$$|m| = m - \frac{a_1 b_1}{\mathrm{X}}, \qquad |n| = n - \frac{a_1 b_1}{\mathrm{X}},$$

et, par conséquent,

$$|m| = |n|.$$

Le réseau N est donc plusieurs fois Ω_{00}.

On forme facilement les déterminants L_0 et L_ω qui correspondent à ce nouveau réseau. La première ligne de L_0 est formée par les coordonnées du point N. Les autres s'obtiennent à l'aide de quadratures que je ne développerai pas dans cette Note. Pour former la première ligne du nouveau déterminant L_ω je pose

$$\varphi = [x', y'].$$

On en déduit

$$(9) \quad \begin{cases} \dfrac{\partial\varphi}{\partial u} = a_1[\xi, y^1] + e_1[x^1, \xi] = -\omega a_1 e_1, \\ \dfrac{\partial\varphi}{\partial v} = b_1[\eta, y^1] + f_1[x^1, \eta] = -\omega b_1 f_1. \end{cases}$$

Les éléments $|y_1^1|, |y_2^1|, |y_3^1|, |y_4^1|$ du nouveau déterminant sont

$$(10) \quad |y_k^1| = y_k^1 + \frac{1}{\omega}\frac{\varphi}{X}x_k^1.$$

En différentiant l'équation (10) on trouve, en effet,

$$\frac{\partial|y_k^1|}{\partial u} = \left(\xi_k - \frac{a_1}{X}x_k^1\right)\left(e_1 + \frac{1}{\omega}\frac{\varphi}{X}a_1\right) = \left(e_1 + \frac{1}{\omega}\frac{\varphi}{X}a_1\right)|\xi_k|,$$

$$\frac{\partial|y_k^1|}{\partial v} = \left(\eta_k - \frac{b_1}{X}x_k^1\right)\left(f_1 + \frac{1}{\omega}\frac{\varphi}{X}b_1\right) = \left(f_1 + \frac{1}{\omega}\frac{\varphi}{X}b_1\right)|\eta_k|,$$

ce qui montre déjà que le point qui a pour coordonnées $|y_k^1|$ décrit un réseau parallèle au réseau (N). On vérifie ensuite que l'on a

$$[|y^1|, |\xi|] = \left(e_1 + \frac{1}{\omega}\frac{\varphi}{X}a_1\right)(U + \omega),$$

$$[|y^1|, |\eta|] = \left(f_1 + \frac{1}{\omega}\frac{\varphi}{X}b_1\right)(V + \omega),$$

ce qui prouve que les $|y_k^1|$ forment une ligne du nouveau déterminant L_ω. On détermine les autres lignes en se servant des crochets

$$[x^1, y^2], \quad [x^1, y^3], \quad [x^1, y^4].$$

Application a l'espace ordinaire. — Je prends un système plusieurs fois Ω_ω dans un espace d'ordre 2. J'ai les deux déterminants

$$L_0 = \begin{vmatrix} x_1^1 & x_2^1 \\ x_1^2 & x_2^2 \end{vmatrix}, \qquad L_\omega = \begin{vmatrix} y_1^1 & y_2^1 \\ y_1^2 & y_2^2 \end{vmatrix}.$$

Le point A qui a pour coordonnées x_1^1, x_2^1, X décrit un réseau; les paramètres normaux des tangentes à ce réseau sont ξ_1, ξ_2, a_1 et η_1, η_2, b_1. Je pose maintenant

$$(11) \qquad y_3 = -\frac{1}{\omega}[x^1, y^1].$$

Le point B qui a pour coordonnées y_1^1, y_2^1, y_3 décrit un réseau parallèle à A. Il en résulte que si, par le point A, je mène une droite D parallèle à la droite qui joint l'origine au point B, cette droite D décrira une congruence conjuguée au réseau A. Je dis que cette congruence appartient à un complexe linéaire. On a, en effet, d'après l'équation (11),

$$x_1^1 y_2^1 - x_2^1 y_1^1 = -\omega y_3.$$

La droite D appartient à un complexe linéaire ayant pour axe le troisième axe de coordonnées et pour paramètre $-\omega$. A chaque valeur de ω on fait correspondre une série de congruences C, L conjuguées au réseau A. Les complexes qui contiennent ces congruences forment un faisceau.

Réciproquement, on obtient ainsi tous les réseaux conjugués à deux congruences C, L appartenant à des complexes différents.

Remarque. — Si la fonction U se réduit à une constante λ, la première tangente AR du réseau A appartient à un complexe linéaire. En effet, les paramètres directeurs de AR sont ξ_1, ξ_2, a_1 et l'on a (4)

$$x_1 \xi_2 - x_2 \xi_1 = a_1 \lambda.$$

Si les deux fonctions U et V se réduisent à des constantes, forcément distinctes, les deux tangentes du réseau A décrivent des congruences C, L. On obtient ainsi les réseaux de M. Wilkinsky.

PHYSIQUE. — *Les points de congélation de liquides organiques purs comme repères thermométriques aux températures inférieures à 0° C.* Note [1] de M. **Jean Timmermans**, Mlle **H. Van der Horst** et M. **H. Kamerlingh Onnes**.

La fixation d'un certain nombre de repères thermométriques, fournis par la fusion ou l'ébullition de substances pures, a souvent été recommandée dans le but d'améliorer la concordance des résultats obtenus par les divers observateurs pour des phénomènes variés. Le présent travail s'occupe de

---

[1] Séance du 30 janvier 1922.

la solution du problème ainsi posé, en ce qui concerne les températures de congélation inférieures à 0° C.

Neuf températures de fusion de liquides organiques purs ont été déterminées. Les mesures ont été faites dans le laboratoire cryogénique de Leyde dans un appareil cryostatique où l'équilibre thermodynamique entre phase liquide et phase cristalline pouvait être maintenu très longtemps à 0,01 de degré près; ce résultat a été obtenu grâce à un brassage énergique de la masse en voie de congélation et à l'usage d'une enceinte cryogénique dont la température pouvait être réglée à l'aide d'un courant d'air froid. Les températures *relatives* étaient déterminées au $\frac{1}{1000}$ de degré, à l'aide d'un thermomètre à résistance de platine, recalibré par rapport à un thermomètre à hélium, capable d'indiquer les températures *absolues* à 0,02 degré près.

Les corps étudiés ont été purifiés dans le Laboratoire de Chimie de l'Université de Bruxelles avec le plus grand soin; la possibilité d'en conserver indéfiniment des échantillons en tube scellé et de les reproduire, a été vérifiée.

Pendant les mesures ils étaient en communication libre avec l'air atmosphérique. La précision de nos déterminations dépasse le dixième de degré. Nous la considérons cependant comme nettement inférieure à celle qu'on sait obtenir dans les mesures avec le thermomètre à hélium (0,02 degré). Il s'agira donc d'améliorer encore les méthodes suivies pour arriver à connaître les points de repère avec la précision de ce thermomètre. De ce point de vue notre travail n'est qu'un premier pas vers le but proposé.

Voici les constantes physiques des corps que nous avons étudiés et la valeur définitive que nous proposons d'adopter pour leur température de congélation :

Substance.	Température d'ébullition (760mm).	Densité 0°-4°	Température de congélation.
	o C.		o C.
Tétrachlorure de carbone........	76,75	1,63255	— 22,9
Chlorobenzène.................	132,00	1,12795	— 45,2
Chloroforme...................	61,20	1,52635	— 63,5
Acétate d'éthyle..............	77,15	0,92450	— 83,6
Toluène.......................	110,70	0,88445	— 95,1
Sulfure de carbone............	46,25	1,29270	—111,6
Éther éthylique (forme stable)..	34,60	0,73625	—116,3
» » (» instable).			—123,3
Méthylcyclohexane.............	100,30	0,78640	—126,4
Isopentane....................	27,95	0,63950	—159,6

Nous espérons pouvoir bientôt, sous les auspices de la première Commission de l'Institut International du Froid, mettre à la disposition de nos Collègues, des échantillons garantis des repères thermométriques ainsi établis.

ÉLECTIONS.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à l'élection d'un Membre de la Section de Géographie et Navigation, en remplacement de M. *Alfred Grandidier*, décédé.

Au premier tour de scrutin, le nombre de votants étant 57,

M. Gustave Ferrié	obtient	. . . .	52 suffrages
M. Eugène Fichot	»	. . . .	2 »
M. Jean Tilho	»	. . . .	2 »
M. Edouard Perrin	»	. . . .	1 suffrage

M. **Gustave Ferrié**, ayant réuni la majorité absolue des suffrages, est proclamé élu.

Son élection sera soumise à l'approbation de M. le Président de la République.

CORRESPONDANCE.

M. le **Ministre de l'Instruction publique** invite l'Académie à lui présenter une liste de deux candidats à la chaire d'Anatomie comparée du Muséum d'Histoire naturelle.

(Renvoi à la Section d'Anatomie et Zoologie.)

M. **B. Berloty** adresse des Rapports relatifs aux subventions accordées à l'Observatoire de Ksara sur la *Fondation Loutreuil* en 1919 et 1921.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Ludovic Gaurier. *Études glaciaires dans les Pyrénées françaises et espagnoles de* 1900 *à* 1909. Préface de Ch. Rabot. (Présenté par M. le Prince Bonaparte.)

2° Franck Duroquier, *La T. S. F. des amateurs.*

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Remarques sur les fonctions quasi analytiques et les fonctions indéfiniment dérivables.* Note de M. **Maurice Gevrey.**

Dans deux Notes récentes du plus haut intérêt (¹), MM. Arnaud Denjoy et Émile Borel ont énoncé certaines propriétés des fonctions *quasi analytiques* de variables réelles, pour lesquelles la série de Taylor diverge en tout point de leur domaine d'existence, bien qu'elles soient entièrement déterminées par la connaissance des dérivées successives en un point. M. Denjoy a donné un très beau théorème fournissant un critère de quasi-analyticité par l'allure des dérivées successives d'une fonction donnée $\varphi(x)$ dans un intervalle (a, b) : la condition est vérifiée en particulier pour les les fonctions dont la dérivée $n^{\text{ième}}$ admet la limitation $(Hn\mathcal{L}n\ldots\mathcal{L}_p n)^n$ et que M. Borel appelle *fonctions quasi analytiques de catégorie p.* Ce type est intermédiaire entre les fonctions *de classe* 1, qui sont analytiques, et les fonctions *de classe* > 1, que j'ai envisagées dans un Mémoire antérieur (²); les fonctions quasi analytiques se rangent, en quelque sorte, parmi celles dont la classe est infiniment peu supérieure à *un*.

Nous allons faire entrer toutes les fonctions indéfiniment dérivables dans la classification suivante : si l'on a, dans l'intervalle (a, b),

$$\left|\frac{d^n\varphi}{dx^n}\right| < M\left[\frac{n\,\omega(n)}{R}\right]^n,$$

ω étant une *fonction positive monotone*, nous dirons que φ *est de type* $[\omega]$ dans (a, b). Les types $[\omega]$ et $[\Omega]$ seront considérés comme identiques si le rapport $\frac{\omega}{\Omega}$ reste compris entre deux limites finies; si, plus généralement, il reste borné supérieurement, nous dirons que Ω est *dominante* pour ω (³) et nous traduirons ceci par la notation $[\omega] \leqq [\Omega]$. *Nous envisagerons dans la suite des types de fonctions* ω *non décroissantes.* Les types $[1]$, $[\mathcal{L}n\ldots\mathcal{L}_p n]$, $[n^{\alpha-1}]$ donnent respectivement les fonctions analytiques, quasi analytiques, de classe α.

Plus généralement, si l'on a, en tout point d'un domaine D,

$$\left|\frac{d^{n_1+\ldots+n_p}\Phi}{\partial x_1^{n_1}\ldots\partial x_p^{n_p}}\right| < M\left[\frac{n_1\omega_1(n_1)}{R_1}\right]^{n_1}\cdots\left[\frac{n_p\omega_p(n_p)}{R_p}\right]^{n_p},$$

(¹) *Comptes rendus*, t. 173, 1921, p. 1329 et 1431.

(²) *Annales de l'École Normale*, 1918, p. 129.

(³) Cf. Goursat, *Analyse*, t. 3.

nous dirons que la fonction $\Phi(x_1, \ldots, x_p)$ est, *dans* D *et par rapport à l'ensemble des variables* x_i, *de type* $[\omega_i]$ *en* x_i $(i = 1, \ldots, p)$. Si les fonctions ω_i admettent Ω (par exemple l'une d'elles) comme dominante, on pourra dire que Φ est de type $[\Omega]$ en $(x_1, \ldots, x_p)$. Si enfin la fonction ω_1 admet les autres comme dominantes, on pourra prendre comme limitation de définition

$$\mathrm{M}\frac{[n\,\omega_1(n)]^n}{\mathrm{R}_1'^{n_1}\ldots\mathrm{R}_p'^{n_p}}[\omega_2'(n_2)]^{n_2}\ldots[\omega_p'(n_p)]^{n_p},$$

en posant

$$n = n_1 + \ldots + n_p \quad \text{et} \quad \omega_i = \omega_i'\omega_1 \quad (i = 2, \ldots, p).$$

Cette seconde définition, équivalente à la première pour une classe étendue de fonctions ω croissantes, est celle que nous pourrons adopter pour les fonctions ω à croissance plus rapide.

Cela posé, les propriétés des fonctions *analytiques*, étendues par M. Borel aux fonctions *quasi analytiques* et antérieurement par nous-mêmes aux fonctions *de classe donnée*, sont vraies également *pour les fonctions que nous venons de définir*.

A. Dans une fonction $\Phi(u_1, \ldots, u_q)$ remplaçons les u par des fonctions de x_i $(i = 1, \ldots, p)$ qui, dans un domaine D, sont de type $[\omega_i]$ en x_i et prennent des valeurs constituant un champ de variation où Φ est de type $[\omega] \leqq [\omega_i]$ en $(u_1, \ldots, u_q)$: *la fonction composée* Φ *sera de même type que les* u *dans* D.

B. Soient q fonctions implicites u_h des x_i définies par $\mathrm{F}_k(x_i, u_h) = 0$, avec $h, k = 1, \ldots, q$ et $i = 1, \ldots, p$, F_k étant de type $[\omega_i]$ en x_i et $[\omega] \leqq [\omega_i]$ en (u_h) : *les* u_h *sont de même type que les* F_k *par rapport aux* x_i.

C. Soit un système d'équations différentielles $\mathrm{F}_k[x, y_h^{(i)}] = 0$, avec h, $k = 1, \ldots, q$ et $i = 1, \ldots, n$: si les F_k sont, dans un domaine D, de type $[\omega]$ par rapport à l'ensemble de leurs arguments, *tout système de solutions appartenant à* D *est constitué par des fonctions de type* $[\omega]$ *en* x.

Les démonstrations se font par les méthodes employées dans notre Mémoire, avec des modifications convenables. Les théorèmes B et C supposent les déterminants fonctionnels des F_k par rapport aux u_h ou aux $y_h^{(n)}$ différents de zéro.

Enfin les théorèmes que nous avons établis pour les solutions des équations aux dérivées partielles subsistent en remplaçant dans les énoncés (p. 131 du Mémoire) le mot *classe* par *type*. Donnons-en un exemple :

D. Soient les deux équations *elliptique* et *parabolique*

$$(\mathcal{E}) \qquad F(x, y, z, p, q, r, s, t) = 0,$$
$$(\mathcal{P}) \qquad f(x, y, z, p, q, r) = 0,$$

avec $4F'_r F'_t - F'^2_s > 0$ et $f'_q f'_r \neq 0$, F ou f étant, dans un domaine de variation D de leurs arguments, ou de type $[\omega_1]$ en x et $[\omega_2]$ en y, ou de type $[\omega_1]$ en x et continues en y, ou de type $[\omega_2]$ en y et continues en x, mais dans tous les cas de type $[\omega] \leqq [\omega_i]$ en (z, p, q, r, s, t). *Dans ces conditions, toute solution régulière appartenant à* D *est de même nature que* F *ou* f. Toutefois, pour $(\mathcal{P})$, il faut ajouter la condition $[n] \leqq [\omega]$.

En particulier, *une équation du type elliptique* $(\mathcal{E})$ *quasi analytique a toutes ses solutions régulières quasi analytiques en* (x, y); une équation $(\mathcal{E})$ ou $(\mathcal{P})$ quasi analytique, *sauf en* y, a ses solutions *quasi analytiques en* x. Si enfin f est quasi analytique, *sauf en* x, et si la solution z de $(\mathcal{P})$ se réduit à deux fonctions quasi analytiques de y sur deux côtés AB, CD d'un rectangle, parallèles à Oy, z est *quasi analytique en* y dans le rectangle et même *prolongeable* au delà de AB et CD.

Ces résultats s'étendent au cas de m variables et aux équations d'ordre $2p$ *complètement elliptiques* [1].

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Les séries de fractions rationnelles et l'intégration.* Note de M. **Gaston Julia**, présentée par M. Émile Borel.

1. Les fonctions monogènes non analytiques introduites par M. Borel n'ont guère été étudiées jusqu'ici qu'au point de vue de la dérivation et de la représentation par des séries de polynomes. Je voudrais montrer ici, sur un exemple particulièrement simple, qu'elles peuvent conduire, *par intégration*, à des conséquences en contradiction avec un théorème important de la théorie des fonctions selon Weierstrass : le théorème de Poincaré-Volterra. Ce théorème dit que toute fonction multiforme et analytique ne peut avoir en chaque point de son domaine d'existence W que des valeurs *formant un ensemble dénombrable.*

---

(1) Cf. ma Note des *Comptes rendus*, t. 158, 1914, p. 1652. Cette Note devait faire l'objet d'un second Mémoire : j'ai différé sa publication pour pouvoir utiliser les résultats de mes recherches actuelles sur la fonction de Green, qui permettent de simplifier les démonstrations primitives.

Or considérons, pour simplifier, une série

$$f(z)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{z-a_n},$$

où *les* A_n *sont tous positifs* et les a_n partout denses sur le cercle trigonométrique. Moyennant certaines hypothèses sur la décroissance des A_n et la convergence de ΣA_n, la série $f(z)$ et toutes ses dérivées convergent uniformément sur une infinité de rayons traversant le cercle trigonométrique, par exemple sur les rayons $\mathcal{R}$ extérieurs à des intervalles d'exclusion pris sur le cercle, ayant pour centres les a_n et décroissant assez rapidement. Ces rayons forment un ensemble $(\mathcal{R})$ *ayant la puissance du continu*, puisque la somme des longueurs des intervalles d'exclusion peut être prise arbitrairement petite. D'ailleurs on peut choisir d'abord les a_n, puis les intervalles, puis les A_n, de façon que la série

$$f(z)=\sum_{1}^{\infty}\frac{A_n}{z-a_n}$$

ait les propriétés précédentes. On peut alors l'intégrer sur chacun des rayons $\mathcal{R}$ précédents à partir de l'origine, dépasser le cercle trigonométrique, puis aboutir à un point z fixé hors du cercle trigonométrique. L'intégration peut se faire terme à terme et

$$\varphi(z)=\int_0^z f(z)\,dz=\sum_{1}^{\infty}A_n\log\left(1-\frac{z}{a_n}\right);$$

$\varphi(z)$ est monogène aux mêmes points que $f(z)$.

Mais $\varphi(z)$ n'est pas uniforme et si C_1 et C_2 sont deux chemins suivis pour arriver en z, on aura

$$\varphi_{C_2}(z)-\varphi_{C_1}(z)=2i\pi\Sigma A_p,$$

la sommation étant étendue aux indices p correspondant aux a_p intérieurs au contour fermé composé de C_1 et C_2. Les A_p étant tous positifs on aura toujours $\varphi_{C_2}\neq\varphi_{C_1}$.

Donc *au point* z l'intégrale

$$\varphi(z)=\int_0^z f(z)\,dz$$

a autant de valeurs *distinctes* qu'il y a de *rayons distincts* issus de o permettant de traverser le cercle trigonométrique sur lesquels l'intégration

soit possible. Et comme tous les rayons $\mathcal{R}$ permettent cette intégration, *l'ensemble des valeurs de* $\varphi(z)$ *en chaque point extérieur au cercle trigonométrique a la puissance du continu.*

2. Le raisonnement précédent s'étend immédiatement aux fonctions monogènes non analytiques

$$f(z) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{z - a_n},$$

où les a_n sont denses dans une aire, les A_n étant assez rapidement croissants, pour que $f(z)$ ait, dans le domaine C défini à l'aide des a_n, toutes les propriétés de monogénéité relatives aux dérivées, que M. Borel indique, par exemple, au Chapitre V de son livre sur les fonctions monogènes. Si l'on a choisi les A_n positifs, ou même si on les a astreints à la condition

$$\sum_{n=p+1}^{\infty} |A_n| < \frac{1}{2} |A_p|,$$

quel que soit p, on reconnaîtra qu'aucune somme ΣA_k, composée d'une infinité de A_k, ne peut être nulle et cela suffit pour affirmer que deux valeurs de

$$\varphi(z) = \int_{z_0}^{z} f(z)\, dz$$

sont distinctes si les chemins (¹) suivis pour aller de z_0 à z sont distincts. Chacun de ces chemins pourra être composé de deux segments de droite respectivement issus de z_0 et z, et l'on reconnaît aussitôt que l'ensemble des directions admissibles issues, par exemple, de z_0 a la *puissance du continu. L'ensemble des valeurs de* $\varphi(z)$ *en tout point* z *du domaine* C *aura donc la puissance du continu.*

3. L'intégration des fonctions monogènes uniformes non analytiques conduit de la manière la plus simple à des fonctions monogènes multiformes non analytiques pour lesquelles le théorème de Poincaré-Volterra n'est plus vrai. Avec ce théorème disparaît la notion de surface de Riemann à une infinité *dénombrable* de feuillets et toute une série de conséquences en particulier celle-ci : dans le domaine d'existence W d'une fonction analytique $f(z)$, l'ensemble des racines de l'équation $f(z) = a$ (quel que soit a) est toujours dénombrable. Notons en terminant la forme remarquable des

(¹) Ces chemins sont, bien entendu, intérieurs au domaine C où $f(z)$ est monogène.

séries $\sum_1^\infty A_n \log\left(1 - \frac{z}{a_n}\right)$ que nous a fournies l'intégration de la série de fonctions rationnelles, et celle des produits infinis associés $\prod_1^\infty \left(1 - \frac{z}{a_n}\right)^{A_n}$ exemples simples de fonctions multiformes monogènes non analytiques dont l'ensemble des déterminations en chaque point n'est pas dénombrable.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur un théorème de M. Denjoy.* Note de M. **Torsten Carleman**, présentée par M. Emile Borel.

Dans une Note récente ([1]), M. Denjoy vient de publier l'important théorème suivant :

« Si $f(x)$ est une fonction de variable réelle définie sur le segment (ab) et y possédant des dérivées de tous les ordres et si, M_n étant le maximum de $|f^{n)}(x)|$ sur le segment (ab), la série $\sum \frac{1}{\sqrt[n]{M_n}} = \sum \frac{1}{\alpha(n)}$ est divergente et satisfait à certaines conditions de régularité, $f(x)$ est identiquement nulle si elle s'annule avec toutes ses dérivées en un seul point du segment. »

Bien que le cas de croissance régulière de la suite $\alpha(n)$ soit le plus important pour les applications (notamment dans la théorie des fonctions quasi analytiques de M. Borel), il ne sera peut-être pas inutile de faire voir que le théorème de M. Denjoy reste vrai *sans aucune réserve sur la régularité de la suite* $\sqrt[n]{M_n}$.

Pour arriver à ce résultat, il suffit de modifier la dernière partie de la démonstration de M. Denjoy en se servant du lemme suivant :

« Soit $\Phi(z)$ une fonction analytique de $z = z_1 + iz_2$, non identiquement nulle, qui est régulière pour $z_1 > 0$, $|z| > R_0$ et bornée dans le voisinage de chaque point de l'axe imaginaire à distance finie. Posons

$$z = re^{i\varphi}, \qquad \log|\Phi(z)| = \log M(r, \varphi) = U(r, \varphi),$$
$$\log M\left(r, \frac{\pi}{2}\right) M\left(r, -\frac{\pi}{2}\right) = g(r).$$

Si alors

$$\liminf_{r=\infty} \frac{1}{r} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} [|U(r, \varphi)| + U(r, \varphi)] \cos\varphi \, d\varphi$$

([1]) *Comptes rendus*, t. 173, 1921, p. 1329.

est finie et si l'intégrale

$$\int_{R_0}^{\infty} \frac{|g(r)| + g(r)}{r^2}\, dr$$

est convergente il en est de même de

$$\int_{R_0}^{\infty} \frac{|g(r)| - g(r)}{r^2}\, dr. \text{ »}$$

Cette proposition s'obtient par la formule

$$\int \left(u \frac{\partial v}{\partial n} - v \frac{\partial u}{\partial n} \right) ds = 0,$$

en y posant $u = \log|\Phi(z)|$ et $v =$ fonction de Green du demi-cercle $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$, $r \leq R$, et en faisant tendre R vers l'infini.

M. Denjoy a remarqué qu'il suffit de considérer des fonctions $f(x)$ qui s'annulent avec toutes leurs dérivées en même temps en a et en b. Dans ce qui suit nous allons utiliser une méthode un peu différente pour arriver à la même conclusion. En supposant

(1) $$0 = f(a) = f'(a) = \ldots = f^{(n)}(a) = \ldots,$$

il est évident que la fonction

$$F(t) = f\left[b - 4(b-a)\left(t - \frac{1}{2}\right)^2 \right]$$

s'annule avec toutes ses dérivées pour $t = 0$ et pour $t = 1$. On démontre sans difficulté qu'il existe une constante C telle que

(2) $$|F^{(n)}(t)| < C^n M_n.$$

Considérons maintenant, en reprenant la méthode de M. Denjoy, l'intégrale

(3) $$\Phi(z) = \int_0^1 e^{-zt} F(t)\, dt,$$

et introduisons les constantes

$$m_p^2 = \int_0^1 [F^{(p)}(t)]^2\, dt.$$

En se servant de l'égalité

$$F(s) = \frac{1}{\underline{|n-1}} \int_0^s (s-t)^{n-1} F^{(n)}(t)\, dt,$$

on trouve que $\frac{n}{\sqrt[n]{m_n}}$ reste borné (pourvu que $M_0 \neq 0$).

Par une intégration par parties et par l'application de l'inégalité de Schwarz il viendra

$$(4) \qquad m_p^2 = -\int_0^1 F^{(p-1)}(t)\, F^{(p+1)}(t)\, dt \leqq m_{p-1} m_{p+1}.$$

En supposant $m_0 = 1$ (ce qui ne restreint pas la généralité), il suit de là que $\sqrt[n]{m_n} = \beta(n)$ est une suite non décroissante. En effectuant dans l'intégrale (3) successivement n intégrations par parties, il viendra, pour $z_1 \geqq 0$,

$$(5) \qquad |\Phi(z)| < \left| \frac{1}{z^n} \int_0^1 |F^{(n)}(t)|\, dt \right| = \frac{m_n}{|z|^n} = \left[\frac{\beta(n)}{r} \right]^n.$$

On peut compléter, pour n non entier, la définition de $\beta(n)$, de manière à obtenir une fonction admettant partout (pour $n > 0$) une dérivée continue non négative. Il existe évidemment une solution $n = \gamma(r)$ toujours croissante de l'équation $r = 2\beta(n)$. En posant, dans (5), $n = [\gamma(r)]$, on trouve, pour r suffisamment grand,

$$\log \frac{1}{|\Phi(z)|} > \frac{\log 2}{2} \gamma(r).$$

Il suffit, maintenant, d'appliquer le lemme énoncé plus haut pour conclure que $\Phi(z)$ est identiquement nulle si

$$(6) \qquad \int_{R_0}^{\infty} \frac{\gamma(r)}{r^2}\, dr$$

est divergente. En faisant ici le changement de variable $r = 2\beta(s)$, nous trouverons l'intégrale

$$\int_{n_0}^{\infty} \frac{s\beta'(s)}{\beta(s)^2}\, ds.$$

Par une intégration par parties il viendra

$$\int_{n_0}^{n} \frac{s\beta'(s)}{\beta(s)^2}\, ds = -\frac{n}{\beta(n)} + \frac{n_0}{\beta(n_0)} + \int_{n_0}^{n} \frac{ds}{\beta(s)},$$

d'où l'on conclut, $\frac{n}{\beta(n)}$ étant borné, que l'intégrale (6) est divergente si $\int_{n_0}^{\infty} \frac{ds}{\beta(s)}$ diverge, ce qui arrive [$\beta(s)$ étant monotone] si $\sum \frac{1}{\beta(n)}$ est divergente.

Comme l'on a, d'après (2), $\beta(n) < C\sqrt[n]{M_n}$, on voit que la divergence

de $\sum \frac{1}{\sqrt[n]{M_n}}$ entraîne celle de $\sum \frac{1}{\beta(n)}$, et, par conséquent, celle de l'intégrale (6).

$\Phi(z)$ est donc identiquement nulle si $\sum \frac{1}{\sqrt[n]{M_n}}$ diverge.

ASTRONOMIE PHYSIQUE. — *La projection de la lumière des étoiles doubles périodiques et les oscillations des raies spectrales.* Note [1] de M. G. Sagnac, présentée par M. Daniel Berthelot.

La méthode de Fizeau révèle par le spectroscope associé au télescope la vitesse purement radiale, directement invisible dans le ciel, que possède un astre vers nous et la mesure par le déplacement $\Delta\lambda$ d'une raie vers le violet, et, inversement, mesure une vitesse opposée, par un déplacement vers le rouge. A 100 années de lumière de distance, par exemple, un astre nous avertit par la mesure directe du rapport $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$, de la grandeur de la vitesse radiale Δv, qui était à cette époque reculée, exactement identique à la fraction $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ dans son rapport $\frac{\Delta v}{C}$ à la vitesse normale C de la lumière. Cette vitesse C a été déterminée sur la directe traversée de l'orbite terrestre par Rœmer en utilisant les signaux périodiques très réguliers, éclipses ou émergences d'un des satellites de Jupiter.

Aujourd'hui le développement de la Physique céleste, appliquée avec de puissants instruments à l'étude des étoiles doubles, nous invite, comme théoricien de la lumière, à apporter notre collaboration à la recherche des clartés que les astronomes aiment à introduire dans les grandioses mécanismes qu'ils approfondissent dans l'Univers le plus éloigné de notre système solaire. Après des théories d'éclipses, peut-être trop généralisées dans l'étude de périodes symétriques d'éclat, ils ont essayé d'expliquer les périodiques variations d'éclat devenues très dissymétriques et anormales par rapport aux éclipses, que révèlent aujourd'hui les étoiles doubles Céphéides, Géminides, ou des amas d'étoiles. Le type de β Lyre a disparu avec le second maximum d'éclat identique au premier et caractéristique d'une période presque symétrique, et il n'y a plus guère dans ces étoiles, à la dissymétrie profonde, qu'une seule ascension vers un maximum M d'éclat

---

(1) Séance du 30 janvier 1922.

beaucoup plus rapidement atteint à partir du minimum m d'éclat antérieur que la durée, souvent double, de la descente lente terminant à un nouveau minimum m la période P de quelques jours.

Pour ces *Céphéides*, c'est un fait que le maximum d'éclat M coïncide à peu près avec la plus grande valeur du déplacement $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$, c'est-à-dire avec le maximum de la vitesse radiale totale dirigée soit vers nous (déplacement $\Delta\lambda$ au maximum vers le violet), soit à l'opposé (déplacement relativement faible vers le rouge).

Mais cette loi est souvent assez inexacte et je crois devoir attribuer la différence à ce que la concentration de l'énergie en un maximum d'éclat est un effet complexe de la projection de l'énergie issue de l'étoile à chaque instant avec la vitesse $C + \Delta v$ par rapport à la Terre. Les éléments d'énergie successivement émis avec des vitesses Δv par exemple, croissantes quand l'étoile vient vers nous, se resserrent en avant et peuvent se superposer ou se dépasser même. Cette interversion est cachée à l'observateur au photomètre. Elle est au contraire un fait observable au spectroscope. Dans le spectre, en effet, chaque raie isole et repère par sa position actuelle que précise $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ l'élément d'énergie qui est anciennement parti du point de l'orbite où la vitesse radiale totale Δv satisfait à l'identité de $\frac{\Delta v}{C}$ avec $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$.

Dès lors, il est d'une bonne méthode de rapporter la classification des étoiles Céphéides et analogues, non à la seule durée de l'ascension du minimum au maximum d'*éclat*, mais, en liaison avec cette utile méthode de Chandler, à la méthode d'observation de la durée de la variation complète de la vitesse radiale totale Δv entre son minimum et son maximum. Le minimum peut être la vitesse zéro et coïncider exactement avec la position de la raie normale λ correspondante d'une source de lumière terrestre. Le maximum est vers le violet ou le rouge et calculable dans la valeur maximum du rapport $\frac{\Delta v}{C}$ par celle du rapport maximum correspondant $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ mesurée par l'observation, ou sur la plaque photographique.

Un autre avantage de la méthode, qui est caractéristique de notre loi théorique de la projection, est que la dissymétrie de la phase peut *se calculer* pour $\Delta\lambda$ par un *glissement* z dont on déduira l'*ascension* f du zéro au maximum de la grandeur commune de $\frac{\Delta v}{C}$ et de $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$; z et f seront exprimés en fraction de période. Or le glissement, si Δv est dirigée vers nous, c'est-à-dire $\Delta\lambda$ vers le violet, est une avance par projection de vitesse maximum Δv_M qui

diminuerait le numéro des phases sur l'orbite que l'on peut dessiner sur une circonférence.

Les nombres successifs désignent sur cette orbite des phases équidistantes applicables aux positions réelles de l'étoile en fonction du temps au départ, si l'orbite n'a réellement aucune excentricité. Sur la Terre, le glissement de la phase a été en fraction de la période P, le rapport $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ identique à $\frac{\Delta c}{C}$ qu'on aurait à une distance de l'étoile réduite à P jours de lumière, multiplié évidemment par le nombre considérable des périodes P qui nous séparent de l'étoile dans le temps de lumière T. Alors $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\frac{T}{P}$ dans sa valeur maximum donne le glissement z calculé à partir du temps T de lumière, qu'on peut admettre d'après le Tableau qui fait correspondre T à l'éclat de l'étoile unique d'une Céphéide, calculé dans sa valeur moyenne d'après la mesure de l'aire totale d'une courbe d'éclat le long d'une période entière. Nous avons des exemples de ce calcul de z et de l'ascension correspondante f, qui s'accorde avec la valeur directement observée de f dans le spectroscope, à l'approximation modeste de la mesure de T.

ÉLECTRO-OPTIQUE. — *Sur la série L du spectre des rayons X.* Note de M. **D. Coster**, présentée par M. E. Bouty.

Dans des travaux précédents j'ai pu montrer qu'on peut réunir, dans un schéma très simple, presque toutes les lignes qui ont été mesurées avec certitude pour les éléments les plus lourds. Ce schéma est composé d'un niveau K, trois niveaux L, cinq niveaux M, sept niveaux N. Les « défauts de combinaison » introduits autrefois par Sommerfeld dans la théorie des spectres de rayons X n'ont pas d'existence réelle; ils ont seulement la signification que le nombre des transitions entre ces différents niveaux est limité par un « principe de sélection » très simple. Il était devenu désirable de vérifier ce même schéma pour les éléments plus légers et de constater pour quels éléments et de quelle manière il peut se modifier. C'est dans ce but que j'ai mesuré de nouveau dans le laboratoire de Lund les spectres d'un grand nombre d'éléments (Ta — Rb). En général les nouveaux résultats confirment les considérations des travaux précédents; en outre, ils donnent un appui à la théorie de la structure de l'atome de Bohr [1]. Une partie des résultats va paraître prochainement dans un autre Recueil.

---

[1] Voir *Nature*, mars et octobre 1921.

Les nouvelles mesures ont montré qu'on peut avoir une grande confiance dans les mesures de précision de Hjalmar pour cette région. Pourtant il existe plusieurs lignes moins fortes que Hjalmar n'a pas trouvées sur ses clichés, et il en a emprunté quelques-unes aux vieilles mesures de Friman. Comme l'a remarqué aussi M. Dauvillier, il y a quelques erreurs dans celles-ci.

Quelques-uns de mes résultats sont plus ou moins contraires aux résultats et aux considérations de M. Dauvillier ([1]); il peut être intéressant de résumer ici nos divergences ([2]).

1. Les lignes β_6 et γ_5 non trouvées par M. Dauvillier pour Sb sont assez intenses dans cette région, je les ai mesurées jusqu'au Rb.

2. A partir de Te on ne peut plus séparer les lignes γ_2 (γ_7) et γ_3; donc la ligne 2694,6 de M. Dauvillier ne peut pas être γ_2 (γ_7) de Sb.

3. La ligne γ_{10} n'a pas été trouvée.

4. Il est très vraisemblable que les lignes γ_6 (γ_2) et β_5 n'existent plus pour Ce et il est certain qu'elles n'existent pas pour Sb. La ligne 2967,7 de M. Dauvillier a une plus courte longueur d'onde que la valeur interpolée de la longueur d'onde de la discontinuité L_1 de Sb. (J'ai mesuré la discontinuité L_1 de l'argent).

5. Les lignes 2985,5 et 2989 trouvées par M. Dauvillier pour Sb ne sont pas les lignes β_9 (β_8) et β_{10} (β_9) des éléments plus lourds. Ce sont des lignes qu'on trouve seulement pour quelques éléments plus légers.

6. Il n'est pas possible de séparer les lignes β_8 (β_2'') de β_2 pour Sb.

7. On ne peut pas séparer le satellite (α_3 chez Dauvillier) de α_1. C'est une bande d'émission qui accompagne la ligne α_1 du côté des plus courtes longueurs d'ondes. Pour les éléments plus légers que le cadmium, ce satellite a une structure plus compliquée ([3]).

8. Les lignes β_2 et γ_1 ont aussi été mesurées pour Zr, elles disparaissaient pour Y ou Sr.

9. La ligne β_1 est aussi accompagnée d'une bande d'émission du côté des plus courtes longueurs d'ondes. A quelque distance de cette bande il y a une ligne très faible pour Sb, mais qui devient assez intense pour Sr et Rb.

([1]) *Comptes rendus*, t. 173, 1921, p. 1458.

([2]) La notation employée ici est celle du Laboratoire de Lund. Quand cette notation diffère de celle de M. Dauvillier, j'ai donné celle-ci entre parenthèses.

([3]) Les satellites des lignes α_1 et β_1 ont été étudiés en détail dans un article qui paraîtra ailleurs.

ÉLECTRICITÉ. — *Mesure de la constante diélectrique des gaz et des vapeurs au moyen des circuits à ondes entretenues.* Note de M. **Bedeau**, présentée par M. E. Bouty.

Rohmann en 1911 utilisa les oscillations électriques amorties pour la détermination du pouvoir inducteur spécifique K des gaz. L'étalonnage absolu des condensateurs présenta des difficultés telles qu'il se borna à des mesures relatives. En effet, pour avoir K en valeur absolue, il faut mesurer deux capacités d'ordre de grandeur très différents; une capacité C dans le vide, puis la variation $\Delta C = (K - 1) C$ qu'elle éprouve lorsqu'on la plonge dans le gaz. Pour l'air, K étant de l'ordre de 1,0006, il vient

$$\Delta C = 6\,C.10^{-4}.$$

Cette difficulté avait déjà arrêté Bädeker (1901) qui avait rapporté ses mesures aux pouvoirs inducteurs spécifiques de l'air et de l'anhydride sulfureux. De même Tangl (1908) faisait l'étalonnage en faisant intervenir le pouvoir inducteur de la benzine, supposé très bien connu. Boltzmann (1874) avait tourné la difficulté en posant $K = 1 + bp$ (p étant la pression et b une constante). Il mesurait le rapport $\frac{K_1}{K_2} = \frac{1 + bp_1}{1 + bp_2}$; ayant b il en déduisait la valeur de K pour $p = 1$ atmosphère.

La mesure directe peut être faite avec précision au moyen de circuits à ondes entretenues. Soient deux circuits A et B, ce dernier jouant le rôle d'hétérodyne; le téléphone d'un contrôleur d'ondes servant d'appareil de réception ne rendra aucun son si la fréquence N de A est très différente ou égale à celle de B, les fréquences de A et B étant séparément inaudibles (N est de l'ordre 5.10^5). Lorsque la capacité C du circuit A variera de ΔC on entendra un son de fréquence $\Delta N = \frac{N}{2}\frac{\Delta C}{C}$. Les deux circuits ayant été réglés pour la même longueur d'onde ($\lambda = 700^m$) lorsque C est dans le vide, l'introduction d'un gaz dans la cloche contenant C produira une variation $\Delta C = (K - 1) C$ et l'on entendra au téléphone le son de fréquence

$$\Delta N = \frac{N}{2}\frac{\Delta C}{C} = \frac{N}{2}(K - 1).$$

La formule précédente montre que si N est connu avec précision, la mesure ΔN donne $(K - 1)$. Au lieu d'utiliser cette méthode que je me propose d'employer ultérieurement, j'ai mesuré directement ΔC et C. La

mesure n'est possible que si ΔN est audible; il faut donc que N soit grand puisque $K - 1 = 0{,}0006$ environ. Il faut, d'autre part, que C soit assez grand pour que ΔC ait une valeur mesurable, une unité électrostatique par exemple. En mettant un voltage convenable (300 volts) à la plaque de la lampe génératrice du circuit A, les ondes s'amorcent pour une capacité

$$C = 2457$$

unités électrostatiques et une self $L = 5.10^{-5}$ henrys; ΔN est alors de l'ordre de 130 vibrations. Le circuit A comprend, outre la self L et la capacité C, une capacité cylindrique variable C′, telle que le déplacement de 1^{cm} de son armature interne produit une variation de capacité d'une unité électrostatique environ. Les deux circuits A et B étant réglés pour la même longueur d'onde, lorsque C est dans le vide, on laisse rentrer le gaz dans la cloche contenant C et l'on agit sur C′ jusqu'à rétablir le silence. Si C′ a été mesuré en fonction de C on aura ΔC, d'où $K - 1$. La capacité C étalonnée à l'établissement central de la radiotélégraphie militaire est constituée par un condensateur à air variable d'une valeur maxima, 2457 unités électrostatiques. Les positions de l'armature interne sont repérées par un index se déplaçant devant un cadran gradué de 0° à 180° La capacité C′ est calculable, mais il faut tenir compte de la variation de self résultant du déplacement de l'armature interne; il a paru préférable de l'évaluer directement en fonction de C. Pour faire cet étalonnage, C′ est monté en parallèle avec C, le curseur étant à 120°, et l'on règle le circuit B à la même longueur d'onde que A. On amène alors le curseur à 125°; pour rétablir le silence au téléphone il faut sortir l'armature interne de C′ d'une longueur L, correspondant à la variation de capacité de C entre 120° et 125°. On recommence l'expérience de 5° en 5° jusqu'à 180°. La somme des longueurs L dans une première série d'expériences a été 7717^{mm} et 7704^{mm} dans une deuxième série. La variation de capacité de C entre 120° et 180° étant connue (810 unités électrostatiques), il en résulte qu'un déplacement de 1^{cm} de l'armature interne de C′ vaut 1,05 unité électrostatique. L'expérience a été réalisée avec de l'air sec à la température de 15° et sous la pression de $75^{cm},5$ de mercure. La moyenne de déplacement de l'armature interne de C′ pour cinq expériences a été $13^{mm},7$, ce qui donne

$$K - 1 = 0{,}000586,$$

la précision étant de $\frac{1}{100}$. La sensibilité de l'appareil sera suffisante pour étudier l'influence d'une pression inférieure à 1 atmosphère.

PHYSIQUE. — *Nouveau mode de détermination des diamètres moléculaires par la rotation électromagnétique de la décharge dans les gaz.* Note [1] de MM. **C.-E. Guye** et **R. Rüdy**, transmise par M. Villard.

Si l'on applique au phénomène de la rotation de la décharge électrique dans les gaz la théorie si féconde de l'ionisation par chocs, on est conduit à exprimer cette vitesse de rotation par la formule

$$\text{(I)} \qquad V = \frac{\varepsilon H}{12\pi\sigma^2 m M}.$$

Comme on le voit, cette vitesse est inversement proportionnelle au nombre M de molécules par unité de volume, c'est-à-dire à la pression du gaz, si le gaz suit la loi de Mariotte. *A champ magnétique invariable et pour un même gaz, le produit de la pression par la vitesse observée doit donc demeurer constant.*

Démonstration de la formule (I). Nous reproduisons ci-après la démonstration de la formule (I) donnée par l'un de nous [2].

Soient ε et m la charge et la masse de l'ion positif soumis à l'action simultanée de deux champs uniformes, l'un électrique F parallèle à l'axe des y, l'autre magnétique H, parallèle à l'axe des z; ce dernier champ entraînera l'ion latéralement suivant l'axe des x et l'on aura

$$\text{(1)} \qquad m\frac{d^2x}{dt^2} = \varepsilon H \frac{dy}{dt}.$$

En remplaçant $\frac{dy}{dt}$ par sa valeur $\frac{\varepsilon F t}{m}$ et en intégrant pour la durée θ qui sépare deux chocs, il vient, pour le chemin parcouru latéralement et pour la vitesse moyenne V d'entraînement,

$$x_\theta = \frac{\varepsilon^2 HF\theta^3}{6m^2}, \qquad V = \frac{\varepsilon^2 HF\theta^2}{6m^2}.$$

On a d'autre part

$$y_\theta = \int_0^\theta \frac{dy}{dt}\,dt = \frac{F\varepsilon\theta^2}{2m}.$$

En égalant cette expression au libre parcours entre deux chocs; soit $\lambda = \frac{1}{4\pi\sigma^2 M}$; M, nombre de molécules par unité de volume; σ, rayon d'une molécule supposé égal

---

[1] Séance du 30 janvier 1922.

[2] C.-E. Guye, *Arch. des Sc. phys. et nat.*, décembre 1917, p. 489. — C.-E. Guye et A. Rothen, *Arch. des Sc. phys. et nat.*, septembre-octobre 1921, p. 466.

à celui de l'ion positif, il vient en définitive

$$V = \frac{\varepsilon H}{12\pi\sigma^2 m M}. \tag{I}$$

On remarquera que la rotation de la décharge, envisagée de la sorte, est plutôt une rotation de la conductibilité qui se déplace sous l'action du champ magnétique qu'une rotation effective d'une masse gazeuse toujours la même.

Des expériences antérieures ([1]), effectuées plus particulièrement sur l'azote et l'oxygène dans le but de vérifier la formule (1), avaient montré que les diamètres moléculaires obtenus par cette formule étaient bien *du même ordre de grandeur* que ceux déduits des expériences de viscosité; elles avaient fait ressortir en outre l'importance fondamentale qu'il y a d'opérer sur des gaz très purs si l'on veut obtenir des résultats concordants.

Nous avons donc repris récemment de nouvelles séries de mesures sur des gaz, très soigneusement purifiés, en utilisant l'appareil même qui avait servi aux expériences de MM. C.-E. Guye et A. Rothen.

La décharge jaillissait horizontalement entre deux électrodes concentriques dorées, placées à l'intérieur d'un tube de laiton, fermé à sa partie supérieure par une glace de façon à permettre l'observation des vitesses de rotation. Le champ magnétique vertical était produit par une bobine entourant tout l'appareil.

Résultats. — Lorsqu'on fait varier progressivement la pression du gaz à l'intérieur du tube, on constate d'abord que la décharge passe successivement par divers régimes. Si l'on prend alors comme abscisse la pression du gaz et comme ordonnée le produit de cette pression par la vitesse de rotation observée, on trouve que ce produit n'est constant que pour un régime déterminé et dans des limites généralement peu étendues de pression. La courbe obtenue présente ainsi un *palier*, très caractéristique, et c'est seulement pour le régime correspondant à ce palier que la formule (1) est applicable. Dans ces conditions, la vitesse de rotation est très exactement proportionnelle au champ magnétique, comme le veut cette formule, ce qui n'est pas toujours le cas pour d'autres régimes.

De même, si l'on emploie des gaz impurs, la vitesse de rotation ne correspond plus à la formule (1); elle n'est plus proportionnelle au champ magnétique et le produit de la pression par la vitesse cesse d'être constant; ainsi pour l'azote insuffisamment purifié, le palier tend à disparaître.

Les résultats des mesures sont réunis dans le Tableau suivant. Nous y

---

([1]) C.-E. Guye et A. Rothen, *loc. cit.*

avons fait figurer d'une part les vitesses de rotation observées V_o, et d'autre part les vitesses calculées V_c en introduisant dans la formule (1) les rayons moléculaires, tels qu'ils résultent des expériences de viscosité [1]. Toutes ces vitesses, soit expérimentales, soit calculées, ont été ramenées à une pression de 1^{cm} et un champ magnétique de 1 gauss.

Les colonnes 3 et 4 donnent la comparaison entre les diamètres moléculaires déduits des vitesses de rotation et des expériences de viscosité.

	$V_o \times 10^2$.	$V_c \times 10^2$.	$(2\sigma) \times 10^8$ (rotation).	$(2\sigma') \times 10^8$ (viscosité).	mV_o.	$m(2\sigma')^2 V_o$.
O^2...	8,5	8,9	3,25	3,19	2,72	2,77
N^2...	9,6	9,6	3,27	3,27	2,69	2,87
CO^2...	4,0	3,9	4,04	4,1	1,76	2,96
H^2...	293,0	254,0	2,21	2,38	5,86	3,32
N^2O...	4,0	3,9	4,04	4,1	1,76	2,96
CH^4...	13,1	13,8	3,70	3,6	2,10	2,89
CO...	6,8	8,7	3,88	3,36	1,90	2,15
C^2H^4...	se décompose par la décharge					

Contrairement à l'opinion généralement admise, la vitesse de rotation observée n'est pas inversement proportionnelle à la densité du gaz (m), mais bien au produit du carré du diamètre moléculaire par cette densité (colonnes 5 et 6).

Les résultats qui précèdent ont été obtenus au moyen d'une machine électrostatique dont le débit ne pouvait varier que dans des limites très étroites; ce n'est qu'avec le débit maximum que nous avions une rotation régulière. Il serait désirable de reprendre dans des conditions plus variées d'intensité de courant l'étude de ces phénomènes.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur la variation des propriétés mécaniques des métaux et alliages aux basses températures.* Note de MM. **Léon Guillet** et **Jean Cournot**, présentée par M. Henry Le Chatelier.

Nous avons effectué un certain nombre d'essais en vue de déterminer l'influence des basses températures sur la dureté et la résilience des produits métallurgiques.

Les températures ont été : + 20° (température ambiante); — 20° (glace + chlorure de calcium); — 80° (neige carbonique); — 190° (air liquide).

---

(1) *Recueil de constantes physiques de la Société française de Physique.*

Les éprouvettes étaient maintenues à température pendant 15 heures, avant essai.

Les résultats obtenus sont groupés dans le Tableau suivant :

	Duretés Brinnell.				Résiliences.			
Métaux et alliages essayés.	+20°.	−20°.	−80°.	Air liquide.	+20°.	−20°.	−80°.	Air liquide.
Fer électrolytique recuit	80	77	77	269	21,2	17,5	2,5	1,9
Acier doux (C 0,1) recuit	110	107	114	273	31,9	32,5	22,5	1,8
Acier demi-dur (C 0,33) recuit	176	174	190	286	13,1	11,2	10,0	3,7
Acier dur (C 0,79) recuit	230	230	231	330	14,4	11,2	10,0	3,7
Acier de cémentation au Ni (C 0,06; Ni 2,30) recuit	130	132	135	230	31,2	31,2	23,1	3,1
Acier Ni-Cr (C 0,25; Ni 4,25; Cr 1,2) trempé à l'air	460	466	444	578	11,2	10,0	11,2	10,0
Acier Ni-Cr (C 0,11; Ni 5,74; Cr 1,74) brut	261	269	282	388	11,8	7,5	3,1	1,9
Ferronickel à 36,8 °/₀ de nickel	157	171	//	239	41,2v	36,2v	//	17,5
» 47 »	184	192	//	238	32,5	29,4	//	29,4
» 57,4 »	197	212	//	240	26,2	35,0v	//	31,8
» 98,8 »	98	103	//	120	47,5v	46,2v	//	40,6v
Cobalt	174	//	//	222	//	//	//	//
Cuivre pur (99,9 °/₀)	51	52	53	66	20,6	18,7	20,6	20,1
Laiton de décolletage (Cu 60,4; Zn 39,3; Pb 0,2)	76	76	76	98	16,2	16,2	17,5	16,8
Laiton au nickel (Cu 52; Ni 4; Pb 1,3) recuit	118	114	118	148	8,1	7,5	8,8	6,9
Aluminium pur (Si 0,25; Fe 0,6)	24	25	24	53	11,2	10,6	11,2	13,1
Duralumin (Cu 3,6; Fe 0,6; Mn 0,5; Si 0,6; Mg 0,5)	101	96	101	129	5,0	5,6	5,0	5,6
Alliage Al-Zn à 15 °/₀ Zn	55	47	48	76	11,2	11,2	10,0	9,3
» 30 »	129	137	121	192	2,5	2,5	1,9	1,8
Alliage Al-Zn-Pb à 15 °/₀ Zn et 1,5 °/₀ Pb	55	51	49	83	10,0	10,0	10,0	8,1

Les conclusions suivantes ressortent de ces résultats :

1° Une augmentation générale de dureté est constatée au refroidissement, ce qui corrobore bien les résultats obtenus autrefois par Robin [1].

2° La fragilité aux basses températures est une caractéristique de la ferrite, la rapidité de la chute de résilience en fonction de la température étant d'autant plus grande que la teneur en ferrite est plus forte.

Le nickel et le cuivre, au contraire, n'amènent pas de fragilité; l'aluminium en grande proportion semble même produire une très légère augmentation de résilience.

---

[1] *Revue de Métallurgie* (Mémoires), 1909, p. 162.

L'austénite pure suffisamment riche en nickel ne présente pas de fragilité aux basses températures [1].

3° Les aciers spéciaux perlitiques au nickel présentent aussi une grande fragilité dans l'air liquide. On remarque cependant que les additions de nickel retardent l'abaissement de la fragilité avec la température.

D'autre part, des mesures de dureté et de résilience après séjour de 16 heures dans l'air liquide, puis revenu de 24 heures à + 20°, ont mis en évidence un retour normal aux propriétés à température ordinaire.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Relations entre les différents oxydes d'uranium.* Note de MM. **Pierre Jolibois** et **Robert Bossuet**, présentée par M. H. Le Chatelier.

Les modes de préparation et les conditions de stabilité des différents oxydes d'uranium présentent un intérêt très grand pour les études dans lesquelles des radioactivités faibles doivent être mesurées. On sait, en effet, que la radioactivité de l'oxyde U^3O^8 a été prise pour étalon dans un grand nombre de mesures.

D'accord avec M. Paul Lebeau, qui a entrepris un travail sur les oxydes d'uranium dont les résultats sont décrits dans la Note suivante, nous avons appliqué la technique d'enregistrement photographique publiée antérieurement par l'un de nous, à la fixation des domaines de stabilité des différents oxydes d'uranium.

1° *Décomposition de* UO^3. — L'oxyde UO^3 que nous avons employé a été obtenu en calcinant le nitrate d'uranyle à 500° d'après le mode de préparation décrit par M. Lebeau. Nous l'avons chauffé dans le vide en enregistrant la température en fonction de la pression (*fig.* 1). On voit ainsi que la décomposition de UO^3 est irréversible, dans ces conditions, et donne naissance à l'oxyde U^3O^8 à la température de 502°, température à laquelle la vitesse de réaction prend une valeur sensible (poids de matière employé : 30^g).

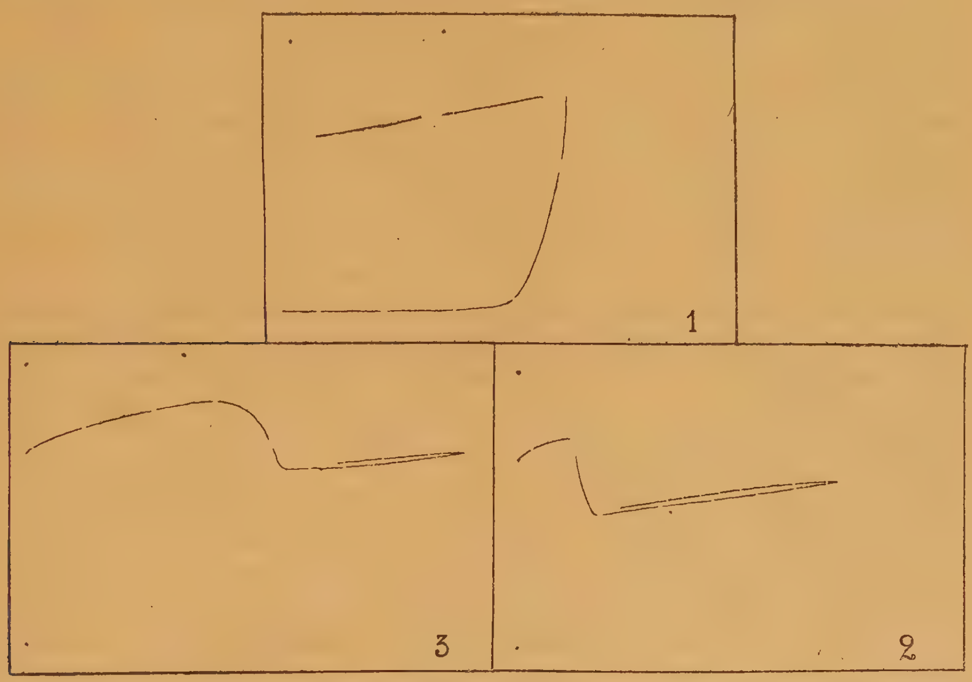
2° *Oxydation de* UO^2. — Nous avons préparé par la méthode classique UO^2 en réduisant U^3O^8 à haute température par un courant d'hydro-

---

(1) Ce résultat est confirmé par les essais, non encore publiés, effectués par Chevenard en 1912, relatifs à l'utilisation des ferronickels dans les appareils de fabrication d'air liquide.

gène pur et sec, dans lequel le composé obtenu a été laissé jusqu'à refroidissement complet. Nous l'avons chauffé dans l'oxygène en enregistrant la température en fonction de la pression (*fig.* 2).

La courbe obtenue nous montre que l'oxydation s'effectue rapidement dans un intervalle de température très restreint à partir de 185°. Le composé obtenu U^3O^8 se forme donc à basse température et l'oxydation a lieu sans aucune phase intermédiaire (poids de matière employé : 15^g).



1. *Décomposition de* UO^3. — 2. *Oxydation de* UO^2. — 3. *Réduction de* U^3O^8 *par l'hydrogène.*

Les températures sont portées en abscisses, les pressions en ordonnées. Les points de gauche représentent la température de 20°. Le point central correspond à la température de 447°. Dans les figures 2 et 3 le point de départ de la courbe à gauche correspond à la pression atmosphérique 755^{mm}. Interruptions de la courbe toutes les 10 minutes.

3° *Réduction de* U^3O^8. — L'oxyde que nous avons employé a été préparé en calcinant à 800° le nitrate d'uranyle pur. Nous l'avons placé dans une atmosphère d'hydrogène pur à l'intérieur d'un creuset de Gooch sur un lit de porcelaine concassée de manière que la vapeur d'eau formée puisse s'éliminer par son poids et venir s'absorber dans de l'anhydride phosphorique placé à la partie inférieure froide de l'appareil. Dans ces conditions la variation de la pression d'hydrogène donne une image de l'allure de la réduction. Il est facile de constater sur la courbe que la réduction commence d'une manière

sensible vers 625° et qu'elle est terminée à 650°. Comme jusqu'à 1000° aucune autre réaction ne se manifeste et que le produit recueilli est UO^2 on ne peut remarquer la formation d'aucun composé intermédiaire entre UO^2 et U^3O^8, conclusion à laquelle l'étude de l'oxydation de UO^2 nous avait déjà conduits (poids de matière employé : 7g,5).

4° *Dissociation de* U^3O^8. — Nous avons, en outre, étudié la dissociation de U^3O^8. Par chauffage de U^3O^8 les nombres que nous avons obtenus sont voisins de ceux publiés par Colani [1]. Nous avons constaté dans ce cas un fait analogue à celui qui se produit dans la dissociation du carbonate de calcium. La réaction de réabsorption de l'oxygène dégagé se produit avec une lenteur telle que, pratiquement, les courbes de dégagement et d'absorption de l'oxygène sont éloignées l'une de l'autre. Nous avons fait le vide à 1000° sur ce corps pendant 3 heures en maintenant la pression à $\frac{1}{10}$ de millimètre de mercure environ. Après refroidissement, nous avons retiré un corps noir bleuté, dont la réduction par l'hydrogène nous donnait une perte de poids de 3,57 pour 100 (théorie pour U^3O^8 3,80 pour 100), c'est-à-dire U^3O^8 ayant perdu une faible fraction de son oxygène. Pour obtenir par simple dissociation sans intervention d'hydrogène le composé UO^2, nous avons dû calciner dans le vide, à une température voisine de 2000°, le composé U^3O^8 dans un four spécial.

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur les oxydes d'uranium.* Note de M. P. **Lebeau**, présentée par M. Henry Le Chatelier.

De nombreux travaux ont déjà été publiés sur les combinaisons binaires oxygénées de l'uranium, et cependant il règne encore une assez grande incertitude sur la nature de certains d'entre eux. Nous résumons dans la présente Note les faits que nous avons observés au cours de nos recherches sur l'uranium, faits qui nous paraissent préciser quelques propriétés importantes de ces composés.

L'anhydride uranique UO^3 peut être obtenu pur, ainsi que nous l'avons établi antérieurement [2], lorsque l'on maintient jusqu'à poids constant dans un courant d'oxygène l'azotate d'uranyle ou l'hydrate uranique à la température de 500°. Nous avons reconnu depuis que l'emploi d'un courant

---

(1) Colani, *Ann. Ch. Ph.*, 8e série, t. 12, 1907, p. 77.
(2) P. Lebeau, *Comptes rendus*, t. 154, 1912, p. 1808.

d'oxygène n'est pas nécessaire et que l'on peut opérer au contact de l'air.

L'anhydride uranique chauffé à l'air n'est pas altéré jusqu'à 600°. La décomposition se produit nettement à 700° et devient assez rapidement complète à 800°. Toutes les fois que la durée de la chauffe est suffisante pour que toute la masse soit portée à cette température de 800°, on obtient des produits pulvérulents, possédant une couleur gris noir très foncé, et dont la composition correspond bien à celle d'un oxyde U^3O^8. Ils ne changent pas de poids, lorsqu'on les chauffe même vers 1000°, que leur refroidissement soit lent ou rapide.

Ces faits sont en contradiction avec ce qui est généralement admis, à savoir : que la calcination de l'anhydride uranique ou d'un sel d'uranyle à acide volatil donne déjà au-dessous du rouge sombre, de l'oxyde U^3O^8. En réalité on obtient dans ces conditions des mélanges ou, plus vraisemblablement, des solutions solides de UO^3 et U^3O^8, présentant des couleurs variant du vert olive clair au vert foncé presque noir.

En raison du poids atomique élevé de l'uranium, ces divers produits ont des teneurs en oxygène très voisines. Ils se comportent néanmoins de façon un peu différente vis-à-vis de certains réactifs. En particulier ils s'altèrent lentement au contact de l'air humide, mais cette altération est en relation avec la quantité d'anhydride uranique qu'ils renferment. On sait que l'anhydride uranique s'hydrate à la température ordinaire en donnant l'acide uranique hydraté $UO^2(OH)^2H^2O$. Des observations qui nous ont été communiquées dès 1919 par notre collaborateur M. Courtois nous ont permis de constater très nettement sur de nombreux échantillons cette action de l'humidité atmosphérique. M. Courtois ayant eu à analyser en 1914 un très grand nombre de sels organiques d'uranyle a dosé l'uranium par pesée de l'oxyde U^3O^8 provenant de la calcination de ces sels. Il chauffait ces composés dans un creuset de porcelaine, placé dans la flamme d'un brûleur de Bunsen. La température atteinte dans ces conditions dépasse rarement 650°.

Les oxydes résultant de ces calcinations présentaient tous sensiblement le même aspect au moment de leur préparation. Leur couleur était d'un noir verdâtre foncé. En 1919, quelques-uns ont nettement changé de couleur et sont devenus d'un vert beaucoup plus clair. Nous avons examiné de nouveau ces produits il y a quelques semaines, certains sont encore presque noirs, mais d'autres sont vert jaunâtre et ne paraissent plus homogènes. Au microscope l'altération se manifeste pour tous les échantillons par la présence sur leur surface d'efflorescences jaune pâle ayant bien la

couleur de l'hydrate uranique. Ces efflorescences disparaissent sous l'action d'une solution de carbonate d'ammonium.

Dans une récente Communication, M. Staehling [1] a indiqué que des préparations d'oxyde vert d'urane, même à un très grand état de pureté, s'hydratent lentement à l'air sans changer d'aspect extérieur.

Il est probable que ces observations sont du même ordre que celles que nous venons de décrire plus haut. La présence de l'anhydride uranique dans les produits résultant d'une décomposition incomplète permet d'expliquer ces phénomènes.

Une autre cause de l'existence de l'anhydride uranique dans ces mêmes corps qui s'ajoute à la précédente résulte du fait que l'oxyde U^3O^8 préparé à température peu élevée peut s'oxyder à l'air. En chauffant dans un creuset de platine muni de son couvercle environ 15^g d'oxalate d'uranyle à la température de 350°, il se forme non pas l'oxyde UO^2 mais un oxyde d'un gris noir très foncé dont la composition correspond à U^3O^8. Cet oxyde maintenu au contact de l'air pendant 12 heures à 350° s'est transformé en une poudre brun orange en augmentant de poids. Cette augmentation de poids correspond à la transformation à peu près totale du produit en anhydride uranique (trouvé 101,77 au lieu de 101,89).

Une solution de carbonate d'ammoniaque dissout cette substance en ne laissant qu'un résidu excessivement faible d'oxyde U^3O^8 très divisé restant facilement en suspension dans le liquide. Si la calcination de l'oxalate est faite à 800°, l'oxyde gris noir foncé qui en résulte ne varie pas de poids lorsqu'on le chauffe dans les mêmes conditions.

La réduction de l'oxyde U^3O^8 par l'hydrogène commence au voisinage de 500°, mais elle est encore incomplète après 10 heures de chauffe à cette température en opérant sur deux ou trois grammes de produit. Elle est au contraire assez rapidement totale si l'on chauffe à la température de 900° à 1000°. Nous n'avons pas observé, au cours de l'étude de cette réduction, la formation d'un oxyde intermédiaire. L'oxyde UO^2 que l'on obtient possède une couleur brun marron.

L'oxyde uraneux est décrit tantôt comme une poudre noire, tantôt comme une poudre rouge de cuivre ou brun cannelle. Quel que soit son mode de préparation, l'oxyde uraneux doit présenter, lorsqu'il est pur, une teinte brun marron; c'est une poudre de cet aspect que l'on obtient par pulvérisation de l'oxyde cristallisé.

---

(1) Ch. Staehling, *Comptes rendus*, t. **173**, 1921, p. 1468.

Parmi les procédés de préparation de l'oxyde cristallisé, il y a lieu d'éliminer tous ceux dans lesquels il peut y avoir intervention de l'oxygène. C'est ainsi que le procédé donné par Ditte (¹), consistant à chauffer dans un creuset de platine muni de son couvercle l'oxyde U^3O^8 additionné de quelques gouttes d'acide fluorhydrique, ne donne pas UO^2, mais bien U^3O^8 cristallisé.

Nous pouvons conclure de l'ensemble de ces faits :

1° Que seuls les composés oxygénés de l'uranium UO^3, U^3O^8 et UO^2 ont une existence certaine;

2° Que les oxydes de couleur gris foncé, désignés parfois sous le nom d'oxyde noir, correspondent à U^3O^8. Ils sont inaltérables à l'air et peuvent être chauffés jusqu'à 1000° sans décomposition sous la pression atmosphérique;

3° Que les oxydes vert olive plus ou moins foncés préparés à une température inférieure à 800° renferment des quantités variables d'anhydride uranique et sont susceptibles de s'altérer au contact de l'air humide.

CHIMIE MINÉRALE. — *Action du sélénium sur l'or.* Note de M. **H. Pélabon**, présentée par M. A. Haller.

Nous avons indiqué récemment (²) les variations que subit la résistivité du sélénium quand la température croît régulièrement jusqu'au point d'ébullition de ce métalloïde. Ces variations pouvaient s'expliquer par l'existence de deux modifications α et β, puisque les électrodes d'or employées ne variaient pas de poids.

Ayant examiné au microscope métallographique une lame d'or préalablement polie, puis maintenue plusieurs heures au contact du sélénium à une température voisine du point d'ébullition, nous avons pu constater une modification très nette de la surface de la lame. Celle-ci apparaît comme recouverte d'un réseau assez régulier à larges mailles dont les lignes courbes font saillie. Dans l'intérieur des mailles du réseau, l'or est souvent sillonné de lignes très fines parallèles; la direction de ces lignes est différente dans deux mailles voisines. Il n'y a pas de doute, l'or est attaqué et sa surface est recouverte de plages formées de cristaux parallèles. Il est probable que

---

(¹) A. Ditte, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. 1, 1884, p. 342.

(²) *Comptes rendus*, t. 173, 1921, p. 1466.

le sélénium déposé à la surface du métal empêche l'attaque de continuer. En augmentant la surface d'attaque, on doit pouvoir constater beaucoup mieux le phénomène. Nous avons donc chauffé pendant plusieurs jours une large lame d'or dans du sélénium liquide (610° environ) et nous avons constaté, même après avoir chauffé la lame dans la flamme du chalumeau pour la débarrasser du sélénium libre, une très faible augmentation de poids.

Il nous a semblé ainsi que l'or fondait plus facilement après un tel traitement.

Comme généralement les électrodes d'or ne varient pas de poids, la fixation du sélénium sur la lame doit être compensée par une perte de métal. Après avoir dissous le sélénium dans l'acide azotique dans un vase de verre à parois très minces, nous avons placé celui-ci sur la platine du microscope métallographique. En utilisant le plus fort grossissement nous avons pu apercevoir par endroits de très petits cristaux d'or en forme de tétraèdres. Ces cristaux sont le plus souvent groupés pour former de magnifiques étoiles à six branches qui apparaissent vivement éclairées sur le fond sombre. L'or se dissout donc dans le sélénium en très faible quantité ou bien les deux éléments forment une combinaison instable. Dans tous les cas par refroidissement le métal se précipite en cristaux tétraédriques.

Mais en même temps qu'on aperçoit les cristaux d'or dont il s'agit on distingue de longues aiguilles excessivement fines plus blanches, qui traversent quelquefois tout le champ du microscope. Ces aiguilles sont probablement identiques à celles qui se groupent sur la surface du métal.

En résumé, contrairement à ce qu'on a cru jusqu'ici, *l'or est attaqué par le sélénium*, il y a échange partiel entre les deux éléments. Le métal fixe du sélénium qui s'élimine difficilement par élévation de température, le sélénium lui-même prend de l'or.

Le sélénium que nous avons appelé β n'est donc pas un corps pur. La faible résistivité s'explique par la présence de la poussière d'or qu'il tient en suspension et par les aiguilles de sélénium qui le traversent.

Il reste à expliquer pourquoi ce sélénium impur peut reprendre une résistivité très grande par une série d'oscillations de la température.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur quelques nouveaux dérivés de la sulfobenzide.*
Note [1] de M. **Eug. Grandmougin.**

Dans une Note précédente [2] nous avons étudié la sulfobenzide [3], et en particulier ses dérivés diamidés 3.3′ et 4.4′, surtout au point de vue des applications possibles à l'industrie des colorants synthétiques. Incidemment nous avions signalé quelques nouveaux composés dérivés de cette matière première et préparés avec le concours de M. B. Rivetti.

Si nous revenons aujourd'hui sur ces nouveaux corps, dont l'intérêt est surtout documentaire, c'est plutôt pour préciser les méthodes générales de leur préparation. On verra, une fois de plus, la variété des procédés que peut employer la synthèse organique et qui rend ce domaine aussi attrayant et aussi fertile.

En principe, la sulfobenzide se prépare par action de l'acide fumant (chlorhydrine sulfurique, chlorure de sulfuryle) sur le benzène et l'on peut généraliser cette réaction pour obtenir des dérivés symétriques. Ainsi si, au lieu du benzène, on prend le phénol, on obtient une dioxysulfobenzide 4.4′ [4], et l'on prépare de même les dérivés dichloré, dibromé et diiodé, etc. en para [5].

L'action de l'acide fumant sur le nitrobenzène conduit par contre au dérivé dinitré 3.3′, identique à la dinitrosulfobenzide obtenue par nitration de la sulfobenzide [6].

Par réduction, on fait le dérivé diamidé qui, par application de la réaction de Sandmeyer, nous a donné les dérivés dihalogénés correspondants. La 3.3′-dichlorosulfobenzide distille inaltérée sous un vide de 8^{mm}; elle cris-

---

(1) Séance du 30 janvier 1922.

(2) *Comptes rendus*, t. 174, 1922, p. 168.

(3) La désignation de diphénylsulfone, parfaitement correcte du reste, peut cependant prêter à confusion avec la sulfone du diphényle (voir notamment brevets français n° 362140 et additions).

(4) Annaheim, *Ann. Chem.*, t. 172, p. 28.

(5) Avec le dichlorobenzène on obtient une tétrachlorosulfobenzide (Friedel et Crafts, *Ann. Chim.*, 6e série, t. 10, p. 414), sans doute 3.4.3′.4′, et décrite par erreur comme dérivé dichloré 2.2′ dans Richter (vol. 2, p. 2313).

(6) Elle est décrite comme 2.2′ dans Richter (vol. 2, p. 2315); nous avons démontré dans notre Note précédente que c'était un dérivé diméta, c'est-à-dire 3.3′. Voir aussi : MM. Martinet et Haehl, *Comptes rendus*, t. 173, 1921, p. 775.

tallise de l'acide acétique en cristaux jaunâtres (p. f. 108°) ([1]) (chlore, calculé 24,73 pour 100, trouvé 24,57 pour 100). La 3.3'-diiodesulfobenzide se sépare de l'alcool en cristaux jaunâtres fusibles à 158° (iode, calculé 54,04 pour 100, trouvé 53,83 pour 100).

La préparation de ces composés avait été envisagée pour effectuer la synthèse de couleurs à cuve par condensation avec des aminoanthraquinones, analogues aux dérivés des brevets allemands 234518 et 230409, mais qui sont restés sans applications industrielles.

Pour obtenir le dérivé dinitré 4.4', il faut employer par contre un procédé indirect; on le prépare par oxydation du sulfure de phényle dinitré 4.4' formé lors de l'action du sulfure de sodium sur le *p*-chloronitrobenzène.

Le même procédé nous a permis de faire la synthèse du dérivé dinitré 2.2' à partir du sulfure de phényle dinitré en ortho. Ce produit déjà connu se fait, comme le dérivé para, par condensation du sulfure de sodium avec l'*o*-chlornitrobenzène ([2]). Par oxydation avec le bichromate et l'acide sulfurique, à froid, il donne la 2.2'-dinitrosulfobenzide qui cristallise de l'acide acétique en cristaux presque blancs (p. f. 189°) et dont la composition fut vérifiée par l'analyse (N pour 100 calculé 9,09, trouvé 9,00 pour 100) ([3]).

Le dérivé diamidé correspondant n'a pas été préparé; il est du reste à prévoir que, même s'il se diazotait normalement, ce qui n'est pas certain, les colorants obtenus n'offriraient sans doute qu'un intérêt assez médiocre ([4]). Du reste, le mode d'obtention de cette base rend peu probable son emploi industriel.

([1]) Le brevet français 423913 signale une dichlorosulfobenzide obtenue par l'action du chlorure de sulfuryle sur le benzène chloré, en présence du chlorure d'aluminium, différente du dérivé dipara (?) mais dont les constantes ne sont pas indiquées.

([2]) Nietzki et Bothof, *Ber.*, t. 29, 1896, p. 2274. — Comme le rendement est insuffisant, nous avons essayé d'employer l'ortho-iodonitrobenzène, mais sans amélioration sensible. Des essais faits d'autre part pour l'obtenir par action du diazo de l'*o*-nitraniline sur le sulfure de sodium ont dû être abandonnés par suite de la formation de dérivés diazoïques explosifs, même en milieu aqueux.

([3]) Le point de fusion correspond sensiblement à celui du dérivé dinitré de l'oxysulfure (?) de Lobry de Bruyn, p. f. 184° (voir aussi *Ber.*, t. 20, 1887, p. 198).

([4]) Le dérivé correspondant du disulfure de phényle se comporte, comme nous l'avons vérifié, d'une façon anormale lors de la diazotation. Cette base obtenue primitivement par Hofmann (*Ber.*, t. 13, 1880, p. 1230) d'une façon peu commode se prépare plus facilement par réduction du dérivé dinitré correspondant par l'hydrade d'hydrazine (*Ber.*, t. 45, 1912, p. 134) ou, comme nous l'avons constaté, par le bisulfure de sodium. Elle fond à 93°.

Tous les procédés énumérés jusqu'à présent donnent des dérivés symétriques de la sulfobenzide. Pour synthétiser les dérivés asymétriques, il existe diverses méthodes, à partir des acides sulfiniques, notamment. Nous signalerons en particulier celle qui consiste à condenser les acides sulfiniques avec des dérivés chloronitrés des carbures aromatiques ([1]).

Pour vérifier si cette réaction pouvait être généralisée nous avons préparé un dérivé d'une sulfone mixte : *o-p*-dinitrophényl-β-naphtylsulfone par condensation du 1.2.4-chlorodinitrobenzène avec l'acide β-naphtalinesulfinique, en milieu alcoolique ammoniacal, à chaud.

La sulfone, insoluble dans l'alcool, se sépare en cristaux jaune pâle; on l'obtient à l'état pur par cristallisation de l'acide acétique (p. f. 228°). La composition fut vérifiée par l'analyse (N calculé 7,82 pour 100, trouvé 8,00 pour 100). Ajoutons que les dérivés dinitrés 2.4, obtenus par ce procédé, fournissent par réduction des métadiamines qui, par l'action de l'acide nitreux, donnent lieu à la formation de colorants rouge brun.

En résumé, notre étude confirme à nouveau que la sulfobenzide n'offre, au point de vue des colorants synthétiques, qu'un intérêt limité, parce que les colorants qui en dérivent ne présentent pas d'avantages sur ceux qui sont préparés avec des bases plus accessibles et d'un prix de revient inférieur.

Si, par nitration directe, il avait été possible de préparer le dérivé hexanitré, ce produit aurait pu peut-être offrir de l'intérêt comme explosif. Mais comme nous avons démontré que la dinitration se fait en méta, on ne peut dépasser par nitration directe la phase du tétranitro (3.5.3'.5'). Le dérivé hexanitré, seul intéressant comme explosif, ne pourrait se faire que par la voie indirecte du sulfure de phényle hexanitré correspondant. Dans ce domaine encore les applications de la sulfobenzide sont donc sans intérêt pour les mêmes raisons qui empêchent son emploi dans le domaine des couleurs.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la composition de l'essence de térébenthine d'Alep.* Note de M. **Georges Dupont**, présentée par M. A. Haller.

M. Vèzes ([2]) a montré l'homogénéité de l'essence de térébenthine du pin d'Alep et conclu que la presque totalité de cette essence était constituée de

---

([1]) Ullmann et Pasdermadjian, *Ber.*, t. 34, 1901, p. 1151.

([2]) Vèzes, *Soc. des Sc. de Bordeaux*, 23 juin 1909, 21 mai 1912.

pinène. M. Darmois [1] arrive à la même conclusion mais signale qu'un dixième environ de l'essence ne distille qu'à une température notablement plus élevée. M. Pariselle [2] a montré que ce pinène α, extrait de l'essence d'Alep, pouvait être considéré comme du pinène droit à peu près exempt de racémique. D'autre part, Palazzo [3] a vérifié l'identité des essences d'Alep française, italienne et grecque qui donnent toutes des caractéristiques voisines de :

$$d_{25} = 0,855, \quad n_{D.25} = 1,464, \quad [\alpha]_{D.25} = +46° \text{ à } +47°.$$

Nous avons vérifié qu'en outre cette composition est indépendante de l'époque de la récolte. En effet des essences extraites des gemmes de pin d'Alep des amasses successives pendant l'année 1921 nous ont donné :

	α_J [4].	d_{25}.
1re amasse	+41,92	0,8550
2e »	+41,93	0,8550
3e »	+41,14	0,8560
4e »	+41,29	0,8580

Ces faits viennent donc confirmer que la composition d'une essence ne dépend que de la nature de l'arbre qui la fournit.

Il nous a paru intéressant de rechercher si les queues de distillation signalées par les divers auteurs sont simplement des produits d'oxydation de l'essence ou bien s'ils sont des produits normaux de la sécrétion résineuse.

Dans un essai préliminaire, nous sommes parti d'une gemme d'Alep d'origine sûre [5]. L'essence obtenue nous a donné, à la distillation, un résidu de 5 pour 100 environ ne distillant qu'au-dessus de 165°.

Ce résidu est en presque totalité distillable et donne :

Température.	Volume.	$d_{25°}$.	α_J.
156°-177°	55 cm³	0,8570	+42,79
177°-230°-250°	42	0,9247	+ 5,73
250°-255°	30	0,9093	− 7,43
Résidu	15		

(1) Darmois, *Thèse de Doctorat*, Paris, 1910.

(2) Pariselle, *Comptes rendus*, t. 172, 1921, p. 1496.

(3) Palazzo, *La trementine italiane*. Nota IV, Tip. Ricci, Firenze.

(4) α_J rotation sur 10cm pour la raie jaune de l'arc au mercure ($\lambda = 0^{\mu},578$).

(5) M. Carme, à Auriol (Bouches-du-Rhône), avait bien voulu faire sélectionner lui même, en forêt, cette gemme en vue de nos expériences. Nous le remerçions vivement ici.

Ces produits de queue existent donc normalement dans l'essence d'Alep fraîche; ils se présentent comme un liquide jaunâtre à odeur très fine.

Pour étudier leur nature, nous avons pu nous procurer des essences enrichies en ces produits en faisant recueillir, à l'usine même, le dernier litre fourni par chaque distillation de térébenthine dans un appareil ordinaire à vapeur. Cette essence contient $\frac{1}{3}$ environ de produit de queues; elle donne à la distillation :

Numéros des fractions.	Volumes.	Températures déb.	[α]	d_{25^o}.
	cm³	o		
1 à 5.........	1000	154	+42,52	0,8540
6 et 7........	400	155	+42,28	0,8540
8 et 9........	400	»	+41,75	0,8542
10 et 11......	300	156	+39,50	0.8548
12............	72	157-210°	+22,91	0,8622
13............	37	210-220	+ 3,08	0,9043
14 et 15.......	198	220-235	+ 0,37	0,9320 A
16 et 17.......	200	235-250	— 3,32	0,923
18............	100	250-255	— 6,98	0,9114
19............	100	255-258	— 8,75	0,9092 B
20............	100	258-265	—11,58	0,9141
21............	36	265-285	— 1,02	0,9206
22............	70	résidus		

Nous voyons nettement, en dehors des têtes constituées par du pinène, deux fractions, la première A à faible pouvoir rotatoire et à forte densité; la deuxième B lévogyre et à densité plus faible.

Étude des fractions B. — Les fractions 17, 18, 19, plusieurs fois distillées sur le sodium, passent finalement, en presque totalité, à 253°-254° et présentent les caractéristiques suivantes :

$$d_{15} = 0{,}9096, \qquad d_{20} = 0{,}9056, \qquad N_{D20} = 1{,}4977.$$

L'analyse, la cryoscopie, la réfraction moléculaire montrent que ce constituant est un sesquiterpène bicyclique.

Analyse : Trouvé 88,45 (calc. 88,23); H trouvé 12,09 (calc. 11,76).

Cryoscopie : Trouvé pour les concentrations limites M = 208 (calc. 203) R_M trouvé : 66,02; calculé : 66,14.

Ce sesquiterpène est assez semblable au caryophyllène par ses propriétés; toutefois, il s'en distingue par le point de fusion du nitrosite. Ce dérivé, obtenu avec un très faible rendement, fond à 148°-149°. Nous n'avons pu encore obtenir d'autre dérivé cristallisé de ce sesquiterpène. Nous signa-

lerons la réaction colorée que donne une goutte d'acide sulfurique dans la solution acétique de ce corps : coloration rose virant au violet.

Étude de la fraction A. — Cette fraction, qui attaque le sodium à chaud, ne contient ni alcool ni cétone; elle est riche en éther-sel.

9g,2 de la fraction 14 ont été traités par 30cm³ d'une solution de KOH alcoolique à 100g par litre, pendant 4 heures, à 100°. Il a disparu 0mol,01853 de KOH, ce qui correspond à 39,5 pour 100 d'éther, calculé en acétate de bornyle.

Pour déterminer la nature de cet éther, nous avons saponifié 90g du produit. Dans la solution aqueuse, nous avons pu caractériser l'acide acétique. L'huile saponifiée a été chauffée, à 150°, 10 heures avec de l'anhydride phtalique, et les éthers phtaliques acides ont été extraits par une solution de carbonate de soude.

De cette solution, les éthers phtaliques ont été précipités par l'acide chlorhydrique, puis soumis à la saponification.

Nous avons obtenu ainsi du *bornéol inactif* très pur (cristaux hexagonaux fondant à 206°-207°, phtalate acide fondant à 155°-156°).

D'autre part, des fractions non éthérifiables par l'anhydride phtalique, nous avons retiré une huile dont la presque totalité bout entre 250° et 255° et qui s'identifie avec le sesquiterpène que nous avons isolé de la fraction B.

Nous pouvons donc dire que ces fractions de queue sont constituées en presque totalité *d'acétate de bornyle et d'un sesquiterpène*.

Dans l'essence de queue initiale, l'indice de saponification nous conduit à une teneur en *acétate de bornyle* de 6,30 pour 100 et, par suite, à une teneur en sesquiterpène voisine de 23 pour 100.

Dans les queues, débarrassées d'α-pinène, nous trouvons :

Acétate de bornyle	22,7 pour 100
Sesquiterpène	77 »

La composition de l'essence d'Alep fraîche totale est donc voisine de la suivante :

Pinène droit	95 pour 100
Acétate de bornyle inactif.......	1,14 »
Sesquiterpène	3,8 »

GÉOLOGIE. — *Sur la limite orientale du massif granitique de Millevaches.* Note de M. G. Mouret, présentée par M. Pierre Termier.

Le Plateau de Millevaches, qui forme la partie culminante de la région du Massif Central, située à l'ouest du grand chenal houiller, est occupé par un massif de granite à mica blanc, au sein duquel affleure le granite por-

phyroïde à mica noir sur une vaste étendue au nord de la haute vallée de la Vienne. Au Sud, ce massif granitique, qui n'atteint pas la localité d'Égletons (Corrèze), est limité par un massif de granite également porphyroïde, compris entre la région d'Égletons et Ussel. Au Nord, il est limité par le massif de granite à mica noir (granite de Guéret) qui couvre la plus grande partie de la Creuse. A l'Ouest, il domine le plateau gneissique de Limoges et d'Uzerche. Enfin, à l'Est, il est limité par les gneiss d'Aubusson associés à quelques gneiss normaux.

Nous avons autrefois fait connaître le caractère de la limite occidentale du massif et de ses annexes, limite formée par une fracture que jalonne une traînée continue de mylonites (*fracture d'Argentat*). Il y a deux ans, nous avons précisé le caractère de la limite septentrionale (région de Pontarion), formée par une bande schisteuse, déjà figurée sur la carte géologique de la Creuse par Mallard (1866). Nous avons montré que cette bande schisteuse comprend, là encore, une traînée presque continue de mylonites, et qu'elle est associée à des roches laminées, indices certains d'une autre ligne de fracture (fracture de Pontarion). L'objet de la Note présente est d'exposer les résultats de nos explorations le long de la limite orientale du Massif.

Dans une Note antérieure, nous avions indiqué que la ligne de fracture de Pontarion devait passer dans le voisinage du village de la Borne, au nord-ouest de Saint-Michel-de-Veisse, et que les mylonites étaient distribuées à plusieurs niveaux, au sein des couches schisteuses. Il résulte de nos nouvelles explorations qu'en réalité, les mylonites n'occupent qu'un seul niveau, et que la ligne de fracture de Pontarion, en partie masquée par des dépôts houillers, passe, non par la Borne, mais par Saint-Michel-de-Veisse. Elle se prolonge au delà, dans la direction du Sud-Est, jusqu'à la limite des feuilles *Aubusson* et *Ussel*, au village de Vilescot, et alors, là, elle change brusquement de direction, pour s'infléchir vers le Sud, amorçant ainsi la limite orientale du Massif. Si, dans cette partie, la bande schisteuse se maintient avec continuité, il n'en est pas de même des mylonites, dont on retrouve cependant des traces près de Treichazeix et qui apparaissent encore très nettes près du village de Chambroutière, à l'ouest de Felletin. De Janaillat, au nord-nord-ouest de Bourganeuf, jusqu'en ce point, la ligne de fracture peut donc se suivre avec certitude sur environ 40^{km} de longueur. Voilà un premier point établi.

Le second point concerne le prolongement de cette fracture vers le Sud, c'est-à-dire vers Meymac, sur une longueur également d'environ 40^{km}. La

feuille *Ussel* figure bien une faille formant la limite du massif de granite à mica blanc, mais d'après nos explorations, cette ligne de fracture doit être reportée quelque peu plus loin vers l'Est. Les caractères de la limite du Massif de Millevaches, entre Saint-Michel-de-Veisse et le hameau du Vert, au nord-nord-est, de Meymac, restent en effet les mêmes que dans la région septentrionale. La zone schisteuse persiste ; elle forme encore ceinture au massif de granite à mica blanc; elle s'étend à son pied, en occupe le talus, ou atteint parfois le rebord du plateau. Envahie plus ou moins par le granite à mica blanc qui y prend alors une structure gneissique, elle se présente avec une largeur variable. Cette ceinture n'est même pas continue ; entre la région de Clairavaul et le parallèle de Saint-Setier, les schistes sont entièrement résorbés et les gneiss d'Aubusson viennent au contact immédiat du granite de Millevaches. Les schistes ne reparaissent que plus au Sud, et se poursuivent au moins jusqu'au village du Vert, après quoi le granite porphyroïde d'Ussel et de Meymac vient au contact de celui du massif considéré.

Au sud de Chambroutière jusqu'au Vert, et au delà, nous n'avons pu observer de mylonites ou de roches apparemment laminées, à moins qu'il ne faille attribuer la structure schisteuse à un laminage; s'il existe une fracture, et il est difficile d'admettre que la fracture de Pontarion ne puisse pas se poursuivre, cette ligne de fracture ne peut être que la limite ou ligne séparative de la zone schisteuse et des gneiss situés plus à l'Est (gneiss d'Aubusson et autres).

Les caractères qui font présumer une fracture sont, à défaut d'une déformation ou d'un écrasement des roches, les suivants :

1° La netteté et la grande régularité du tracé de la limite du Massif de Millevaches, y compris la zone schisteuse intimement associée au granite, et l'absence, autant que nous avons pu en juger, de passage graduel des schistes de la bordure aux gneiss adjacents.

2° La direction du plongement des couches, qui n'est pas la même pour le granite à mica blanc gneissique et les schistes, ces deux terrains plongeant généralement vers l'Ouest, et pour les gneiss extérieurs, ceux-ci plongeant plutôt vers l'Est.

3° La constitution très différente du Massif de Millevaches et du plateau, de niveau inférieur, qui s'étend à l'Est, où les schistes font absolument défaut, qui ne se compose que de granite à mica noir et de gneiss de même composition. Il y a absence complète de filons de granulite dans le voisinage même du Massif de Millevaches, et les quelques filons de granulite (granulite à cordiérite et à grenat) que la feuille *Ussel* figure, sont à grande distance

du Massif; on peut même dire que la région en question est exceptionnelle par sa richesse en biotite et sa pauvreté en muscovite.

Dans la région de Meymac, la limite du Massif de Millevaches contourne ce bourg au Nord. Elle est très nette, et le filon de porphyre quartzifère figuré sur la feuille *Ussel* au sud-ouest du Vert, répond, sans doute, au passage de la ligne de fracture. Il est probable que cette ligne passe aussi dans le voisinage du petit bassin houiller de Lapleau, sinon même par ce bassin qui, par conséquent, se trouverait placé dans une position identique à celle des autres bassins houillers de cette partie du Massif Central : bassins d'Argentat, de Corrèze, de Mazurat, de Bourganeuf et de Saint-Michel-de-Veisse. Cette situation du bassin de Lapleau suggère des considérations nouvelles au sujet de son extension, car il est recouvert par le granite, et, à l'hypothèse du plissement, imaginée par Dufrénoy pour expliquer le recouvrement, on peut substituer celle du charriage.

GÉOLOGIE. — *Le bassin oligocène effondré Saint-Flour (Cantal) - Malzieu (Lozère). La Truyère miocène, affluent de l'Allier.* Note de M. **Ph. Glangeaud**, présentée par M. Pierre Termier.

Lorsque des hauteurs de Saint-Flour (900^{m}) on regarde l'Est et le Sud-Est, on aperçoit, barrant l'horizon sur près de 60^{km}, la masse sombre de la Margeride, chaîne anticlinale archéogranitique, dissymétrique, dont l'altitude s'élève de 1300^{m} à 1584^{m}, et dont le rebord occidental retombe brusquement sur une fosse d'effondrement drainée par la Truyère.

Cette fosse ne représente qu'*une portion* d'une *importante dépression* oligocène qui s'étendait au delà; au nord de la Margeride, sur le plateau surélevé de Lastic-Vieillespesse, et au nord de Saint-Flour, où elle rejoignait la dépression de Neussargues-Murat, *plus effondrée*, qui communiquait avec le sud de la Limagne sur l'emplacement de la vallée de l'Allagnon. Elle paraît bien s'être étendue aussi sur le territoire compris entre la Truyère et le Bès, entre Fournels, Saint-Chély, Aumont, territoire qui est le premier échelon montagneux vers l'Aubrac. La dépression fut remplie par 200^{m} de sédiments surtout détritiques, effondrés en échelons au pied de la Margeride, mais *relevés* du *Sud au Nord* et déblayés partiellement par la Truyère et ses affluents.

Rames avait étudié l'Oligocène des environs de Saint-Flour, dont Fouqué avait dressé la carte; et M. Boule a publié deux Notes sur la même région.

Cette formation ne se présente plus que sous forme de lambeaux dont certains ont été figurés sur la feuille *Mende* par M. Boule, notamment ceux de Saint-Alban et de Saint-Chély (Lozère).

Les plus importants s'étendent entre Malzieu et Saint-Flour, car ils ont été les *plus effondrés*, ou ont été *protégés* par des coulées volcaniques pliocènes, tels, ceux de Julianges, d'Anglards, de Villedieu, du Foyet et de Faverolles, sous les coulées du mont Chanson, etc.; tels aussi ceux qui longent le pied de la *grande faille bordière de la Margeride*, vers Vasbres, Clavières, Ruines, Rentière, etc.

La *base* de ces dépôts *s'abaisse du Sud au Nord*. Elle est à 1040^m à Saint-Chély et à Javols, 950^m à Saint-Alban, 860^m au Malzieu, 830^m à Saint-Léger, puis se maintient de 830^m à 860^m à l'est et au nord de Saint-Flour, tandis qu'elle s'élève de nouveau à 1020^m sur le territoire surélevé au nord de la Margeride, à l'est de la faille bordière, où quelques îlots ont été conservés et où il existe une *pénéplaine antéoligocène* remarquable (notamment vers Montchamp), gauchie par places par les mouvements miocènes et accidentée par d'assez nombreux volcans.

L'Oligocène du bassin de Saint-Flour se prolongeait par celui du bassin plus effondré de Neussargues, où cette formation descend à 760^m sous Servières et à moins de 700^m sous Joursac, où elle est dénivelée par *deux failles* N-O *prolongeant les failles bordières de la Margeride*. La faille de Joursac avait été signalée par M. Boule. Une dizaine de volcans, *en relation avec ces failles*, sont situés sur le pourtour actuel de ce bassin effondré.

La coupe la plus complète de l'Oligocène peut être observée entre Saint-Léger et Laveyssière. Elle comprend la série suivante à partir de la Truyère :

6. Argiles sableuses un peu ferrugineuses avec nombreux blocs roulés des roches de la bordure Margeride (gneiss ou granite suivant les points) exploitées pour tuileries. Quelques lits de lignite intercalés.
5. Calcaires en gros bancs, à silex panachés, 4^m.
4. Argiles vertes feuilletées avec rognons de calcaire sublithographique, 16^m.
3. Argiles très ferrugineuses, bauxiteuses par places, 8^m.
2. Argiles sableuses fines exploitées pour tuileries, 10^m.
1. Poudingues, à galets de quartz.

L'ensemble mesure environ 160^m d'épaisseur. Il est surmonté au Malzieu et à Verdezun par des grès grossiers à stratification entre-croisée (avec coincements de grès fins kaoliniques) jadis exploités pour la fabrication des meules et dans lesquels M. Boule avait recueilli une flore oligocène comprenant des feuilles et troncs de *Palmiers silicifiés*, *Myrica*, *Cinnoma-*

num, *Platanus*, etc. Je rappellerai aussi que les argiles sableuses de Brons, près Saint-Flour, avaient fourni à Rames des restes de tortues (*Ptychogaster emyoides* et *Testudo*), d'*Acerotherium lemanense*, *A. Gaudryi* et *Enteledon*.

Des calcaires intercalés au milieu d'argiles sableuses avaient été exploités jadis à Saint-Alban. Ces dépôts correspondent vraisemblablement au Sannoisien et au Stampien.

Sables à chailles. — Sur cet ensemble j'ai observé au Malzieu (alt. 996^{m}-1005^{m}) et à Polageac, à l'est de Saint-Flour (alt. 870^{m}), une formation importante, *ravinant l'Oligocène*, constituée par des *sables quartzeux* ferrugineux, à galets de quartz filonien, de granite et de *chailles jurassiques* patinées de jaune brun. Les galets sont beaucoup plus roulés à Polageac, qui est à 25^{km} en aval de Saint-Flour, qu'au Malzieu. Leur épaisseur varie de l'une à l'autre des deux localités de 12^{m} à 6^{m}.

La présence de ces sables à chailles est des plus *intéressante*, car elle témoigne de l'existence, postérieurement à l'Oligocène fortement raviné, *d'un cours d'eau S-N*, suivant la base de la Margeride, descendant des hauteurs les plus élevées du rebord archéo-granitique, dominant le territoire des causses jurassiques Mende-Marvejols.

Or, ce territoire est encore occupé par de petits lambeaux de Lias, dont l'altitude monte à 1200^{m}. Il est donc logique de penser que les chailles proviennent de dépôts jurassiques décalcifiés de ce rebord sud des causses redressé au moment des grands mouvements alpins d'âge oligocène supérieur ou miocène inférieur, et qu'elles ont été charriées au Malzieu, à Polageac, etc., par la Truyère et ses affluents de cette époque.

Ce sont là des faits analogues à ceux constatés par G. Fabre, sur l'autre versant de la Margeride, près de Langogne, par M. Boule dans le Velay et à ceux de la Limagne et de Givreuil (Allier) sur lesquels j'ai attiré longuement l'attention.

Le cours de la Truyère de cette époque se continuait au nord de Saint-Flour, sous les coulées des volcans périphériques du Plomb du Cantal (volcans d'Alloux et de Talizat, etc.) et débouchait en face de Joursac à l'altitude 820^{m} environ dans la vallée de l'Allagnon, qui n'était alors qu'un émissaire peu important de la rive droite de la Truyère, tandis que cette dernière constituait un affluent direct de l'Allier. Les alluvions de Polageac, qui ont peut-être des rapports avec les graviers d'Andelat (étudiés par MM. Boule, Marty et Lauby), n'ont été conservées que grâce aux coulées du volcan de Mons.

Aujourd'hui la Truyère, qui possède un cours NNO jusqu'au célèbre viaduc de Garabit, *tourne brusquement à angle droit*, vers le SO et s'encaisse progressivement entre les massifs du Cantal et de l'Aubrac, car elle a été *capturée* à partir de Garabit par un affluent régressif du Lot.

Je mentionnerai sommairement ici qu'il existe une série de failles en échelon sur le bord ouest du bassin de Saint-Flour-Malzieu, avec regard vers la Margeride.

Plusieurs des failles de ce bassin sont jalonnées par des éruptions. Les volcans de Mons, de Talizat, de Julianges, etc., sont édifiés sur certaines d'entre elles, que jalonnent également de *nombreuses sources minérales* émergeant : d'une part, le long de la Truyère, sous Chauliat, Paladine, Garabit, Anglards et Faverolles; d'autre part, le long de la grande faille bordière de la Margeride, vers Corent, Vasbres, etc.

Le territoire synclinal oligocène Malzieu-Saint-Flour offre donc un ensemble d'événements sédimentaires, tectoniques, volcaniques et hydrologiques qui s'enchaînent et sont liés étroitement à l'histoire du Massif Central.

GÉOLOGIE. — *Phases glaciaires en Grèce; leur relation avec le morcellement de l'Égéis.* Note de M. **Ph. Négris**, présentée par M. Pierre Termier.

La découverte importante de vestiges de l'époque glaciaire en Grèce par M. Otto Maull (*Beiträge zur Morphologie des Pelopones und des sudöstlichen Mittelgriechenlands; Geogr. Abhandlungen von Prof. Dr Albrecht Penck*, Leipzig, 1921) nous a permis de tirer des conclusions intéressantes, concernant l'époque de la disparition de l'Égéis et de la formation de la mer Égée.

M. Maull a observé, sur les hautes montagnes de la Grèce, les vestiges de deux phases glaciaires, avec une distance verticale des limites correspondantes des neiges persistantes de 200^{m} environ (*loc. cit.*, p. 119, Tableau). Il est naturel de penser que ces deux phases répondent aux deux dernières époques glaciaires des Alpes, l'époque würmienne et l'époque rissienne, d'autant plus qu'aux Alpes, la distance des limites des neiges persistantes de ces deux époques est, d'après M. A. Penck, 100^{m}-200^{m} (*Die Alpen im Eiszeitalter*, p. 256).

M. Maull a encore constaté que, si l'on trace les lignes d'égale altitude pour les limites des neiges de la phase la plus basse, ces lignes sont parallèles

aux rivages occidentaux de la Grèce et vont en augmentant d'altitude d'occident en orient, en se recourbant légèrement vers l'Est par leur extrémité méridionale.

C'est ainsi que la ligne passant par le Taygète se trouve à 1950^m-1975^m, celle passant par le Chelmos à 2060^m-2080^m, celle passant par le Parnasse à 2125^m. A cette variation de la limite des neiges, de l'Ouest à l'Est, correspond une variation dans l'abondance des vestiges, pour chaque groupe montagneux pris isolément : à l'Ouest chaque groupe est plus fortement entaillé qu'à l'Est.

Cette disposition des vestiges a conduit M. Maull à admettre que la cause de cette variation d'occident en orient doit être attribuée à l'existence du Continent Egéen, lors de la phase glaciaire qui a donné les limites de neiges les plus basses : le climat aurait été ainsi à cette époque, continental à l'Est, maritime à l'Ouest, d'où la différence dans les limites de neiges.

Le Continent Egéen n'aurait donc disparu qu'après la phase la plus froide que j'attribue au Rissien. Les vestiges supérieurs qui appartiendraient au Würmien sont insuffisants et ne permettent pas malheureusement une comparaison entre l'occident et l'orient.

Les observations concernant la phase froide concordent avec la découverte faite par M. Cayeux de la molaire de l'*Elephas antiquus* (*Description physique de l'île de Délos*, p. 39), prouvant qu'à l'époque chelléenne, Délos appartenait encore au Continent Egéen, et pouvait être visitée par les grands herbivores de ce Continent.

Dans une Note précédente, nous avons fait mention des perforations de Siphnos qui existent jusqu'au sommet de l'île (700^m environ). Ces perforations datent nécessairement du morcellement de l'Égéis et seraient donc *post-chelléennes* et non *siciliennes*, comme j'ai avancé ailleurs [1]. Il est vrai qu'à l'époque pliocène un bras de mer, probablement de faible largeur, ne pouvant pas modifier le caractère continental de la région, traversait le continent Égéen et arrivait jusqu'au Pirée, et l'on serait tenté de rapporter les perforations de Siphnos à cette époque. Cette conjecture n'est pas admissible, non seulement à cause de la fraîcheur des perforations, dont nous avons donné une photographie ailleurs (*Roches cristallophylliennes et Tectonique de la Grèce*, pl. XXI), mais parce qu'elles existent aussi bien sur les roches cristallophylliennes que sur un calcaire terrestre récent

---

(1) *Comptes rendus des séances de la Société géologique de France*, séance du 3 janvier 1919, p. 22.

avec *hélices*, que M. Depéret serait disposé à rapporter au sous-genre *Levantina*, de l'époque actuelle (*loc. cit.*, p. 185). *Ainsi donc, la mer, lors de la submersion de l'Égéis, avait encore un niveau de* 700^m *et plus.*

Ce résultat paraît en désaccord avec ce qu'on observe dans d'autres contrées, mais ce désaccord s'explique facilement par les affaissements des côtes qui se sont produits un peu partout en prolongement des continents submergés. Comment, par exemple, comparer Siphnos aux côtes de l'Atlantique, soit en Europe, soit en Amérique, lorsque l'on sait que les lits des fleuves qui se jettent dans cet Océan se prolongent jusqu'à des profondeurs de milliers de mètres sous le niveau actuel, et qu'il n'y a aucune raison pour ne pas admettre qu'il s'agit d'un affaissement continu, dont il faut chercher l'origine bien avant dans le continent actuel correspondant, et l'on peut se demander si cette origine ne se trouverait pas, pour l'Europe, dans les Alpes même, où nous avons signalé, dans une Note précédente [1], un affaissement de plus de 600^m depuis l'époque würmienne et de 750^m à 850^m depuis l'époque rissienne.

GÉOLOGIE. — *Les nappes dans le nord-est du Tonkin.*
Note de M. **René Bourret**, présentée par M. Pierre Termier.

Au-dessus des divers massifs autochtones du nord-est du Tonkin, dont a parlé une Note précédente, sont conservés des éléments tectoniquement plus élevés : à la base, une série de schistes auxquels je donne le nom de *Schistes du Song Hiem*, et au-dessus, des lambeaux de nappes de charriage dites *Nappes du Song Gam*.

Les Schistes correspondent à des formations antérieurement reconnues dans le Nord sous le nom de *Nappe du Song Mien*, dans le Sud sous celui de *Système X;* j'ai rétabli la continuité entre les deux formations et l'on peut maintenant suivre les Schistes du Song Hiem, depuis la région de Yen Minh jusqu'au sud de That Khé, c'est-à-dire sur une longueur de plus de 250^{km}.

Partout, les Schistes reposent par contact anormal sur les terrains sous-jacents. Dans la région de Cao Bang en particulier, ils entraînent des lambeaux des calcaires ouraliens qui débutent par des anticlinaux encore attenants au substratum, et qui s'en séparent ensuite pour ne plus former, entre les lames des Schistes, que des amandes étirées de plus en plus réduites; les phases progressives de ce phénomène

(1) *Comptes rendus*, t. 171, 1920, p. 728.

sont particulièrement visibles entre le petit plateau du Toc Lang et les environs de Cao Bang. A la périphérie des massifs autochtones et sur presque toute la longueur du contact de base des Schistes, on rencontre des massifs plus ou moins importants de roches éruptives andésitiques, très écrasées, de structure variée, correspondant à celles que M. Jacob, dans le Nord-Annam, désigne globalement sous le nom de *Porphyrites*. Exceptionnellement, ces roches sont injectées dans le substratum autochtone (Région du Quang Uyen et de Dong Khé) ou montent à la base des nappes (Binh Lang).

Les Schistes ne m'ont fourni aucun fossile; ils se prolongent au Sud jusqu'au voisinage de Lang Son, où l'on trouve du Trias qui repose, également par contact anormal, sur le pays autochtone, c'est-à-dire sur le Massif de Cao Bang, sur le Bac Son et sur les rochers calcaires établissant la jonction entre les deux. Malheureusement le Trias ne passe pas aux Schistes du Song Hiem et, suivant un arc formant hernie vers le Sud-Est entre les deux massifs précédents, on peut voir les Schistes glisser, par contact anormal, sur le Trias.

Indépendamment des roches basiques signalées ci-dessus, les schistes renferment, dans leur partie inférieure, des intercalations souvent très importantes de rhyolites, tantôt à quartz globulaire, tantôt pétrosiliceux, qui se rencontrent également en abondance dans le Trias de la région de Lang Son. Dans les deux formations, les rhyolites sont souvent écrasés. J'en trouve des galets dans un poudingue dépendant des Schistes du Song Hiem, et je conclus qu'ils sont antérieurs au dépôt de ceux-ci et peut-être d'âge triasique.

J'arrive maintenant aux lambeaux des nappes du Song Gam; ces lambeaux, au nombre de trois, sont d'étendues très inégales.

Le petit lambeau du Kim Hi, à l'ouest de Yen Lac, et celui, bien plus considérable du Binh Lang, au nord-ouest de Cao Bang, correspondent à une seule nappe et, dans leur ensemble, à une seule lame, celle du Col des Partisans, que nous allons définir dans le troisième lambeau, de beaucoup le plus important. Ce dernier est conservé suivant une grande dépression synclinale, à axe courbe, qui prend place entre l'arc Coc Xo-Dong Quan, et le massif du Haut Song Chay. Dans ce vaste lambeau, qui fournit, avec un entablement calcaire, un des traits géographiques majeurs du nord-est du Tonkin, j'arrive à distinguer deux nappes, dont chacune est constituée par plusieurs lames distinctes.

La nappe inférieure correspond à deux lames séparées encore par des schistes identiques aux Schistes du Song Hiem. Ce sont respectivement : la Lame dite de *Ha Giang* dont l'étendue est considérable et occupe un vaste pays à l'est de la rivière Claire, et la Lame du Col des Partisans qui forme la corniche principale de l'entablement dont il a été question plus haut. La première m'a fourni, à l'est de la feuille de Bao Lac, des *Favositidés* et un *Spirifer* cf. *cabedanus* Vern. et Arch., fossiles qui impliquent pour cette lame un âge dévonien. J'ai trouvé dans les lambeaux de la seconde, notamment à Pa Khao (Binh Lang), la fanule suivante, déterminée par M[lle] Colani : *Fusulina*

Japonica Gumb,; *Schwagerina Verbeecki* Geinitz; *Doliolina lepida* Schwag.; *Neoschwagerina craticulifera* Schwag., espèces du Permien inférieur du Japon.

La nappe supérieure comprend également deux lames, la Lame de Lang Ca Phu et la Lame du Pia Ya, dont l'ensemble est conservé dans la dépression formée par la Lame du Col des Partisans. Cette nappe se distingue de la précédente par la présence, à la base de chacune des deux lames, d'éléments cristallins, tandis que les lames elles-mêmes sont formées de schistes et de calcaires, qui, dans leur ensemble, rappellent par leur faciès le Dévonien de Ngan Son, sans qu'il soit possible toutefois de les dater d'une manière précise. Les terrains cristallins de la Lame inférieure, très écrasés, affleurent principalement dans la région au sud-ouest de Bac Me; ce sont des granites et gneiss amphiboliques. Pour la Lame du Pia Ya, c'est dans le splendide Pic du Pia Ya proprement dit, que se rencontre, avec une épaisseur de plus de 1000^{m}, un beau granite porphyroïde à mica noir, écrasé à la base et suivi de gneiss amphiboliques.

Après avoir parlé des terrains cristallins charriés des Nappes du Song Gam, je tiens à revenir sur ceux des massifs autochtones, parce que j'ai à indiquer des granites qui ne sont ni anciens et autochtones, ni charriés, et qui soulèvent une question délicate de la géologie indo-chinoise. Dans le Dôme autochtone de Ngan Son, nous connaissons, avec le granite du Phan Ngame, un élément du substratum qui est écrasé, aussi bien que les gneiss et les schistes ou les calcaires eiféliens qui l'accompagnent. Tout autrement se présente la granulite stannifère du Pia Oac; elle forme un batholite qui entame la bordure du Dôme du Nui Tong Tinh; elle n'est pas écrasée; elle est entourée presque partout d'une auréole de cornéennes, qui correspond au métamorphisme, aussi bien des schistes probablement dévoniens du substratum que des schistes charriés reposant sur les éléments autochtones envisagés ici. La granulite du Pia Oac aurait donc fait ascension postérieurement à la mise en place des nappes de la région.

GÉOLOGIE. — *Sur la géologie du Tonkin occidental.* Note de M. **Léon Dussault**, présentée par M. Pierre Termier.

J'ai consacré les premiers mois de la saison d'hiver 1920-1921 à revoir, au point de vue géologique, la partie du Tonkin qui s'étend du Fleuve Rouge à la frontière laotienne, au nord d'une ligne qui irait de Yen Bay à Sop Cop, région où, soit comme officier topographe au Service Géographique, soit comme Commandant du Territoire militaire de Lai Chau, j'avais eu antérieurement, depuis 1907, l'occasion de séjourner et de parcourir de nombreux itinéraires

Géographiquement, l'axe de cette partie du Tonkin est occupé par une

ligne de plateaux calcaires de direction Sud-Est, comprenant les Plateaux de Ta Phing, de Sin Tiai, de Son La, et encadrée par deux zones montagneuses d'un caractère différent : au Sud-Ouest, ce sont les crêtes de topographie assez molle du haut bassin du Song Ma et de la surface bordière du haut Laos où se trouve le partage des eaux entre le Mékong et la Rivière Noire; au Nord-Est, ce sont les massifs, pourvus d'une vigoureuse individualité, d'entre Rivière Noire et Fleuve Rouge : Sa Phin et Nam Kim, à l'Ouest et du côté de la Rivière Noire, Fan Si Pan et Aiguilles de Ta Yang Ping, au Nord et du côté du Fleuve Rouge. Ces traits géographiques trouvent leur explication dans la constitution géologique.

Le haut bassin du Song Ma et la surface bordière des plateaux du haut Laos correspondent à la prolongation vers le Nord-Ouest de la province de Sam Neua. On y rencontre le même substratum cristallin de granite et de gneiss, suivant certaines bandes anticlinales, sur lequel repose une épaisse série gréso-schisteuse à fossiles triasiques.

J'y ai recueilli, d'après les déterminations de M. Mansuy, près de Sop Cop : *Monotis aviculæformis* Mans., *Daonella* cf. *indica* Bittner, *Halobia* cf. *austriaca* Mojs., *Palæocardita* sp.; les mêmes fossiles se retrouvent près de Dien Bien et il s'y ajoute une Ammonite à cloisons conservées, attribuée au genre *Discotropites* du Trias supérieur par M. Patte. Dans la série schisto-gréseuse s'intercalent des rhyolites, à Sop Cop, à Dien Bien, à l'ouest de Lai Chau, auxquelles s'adjoignent dans le haut de la série, vers le plateau de Son La, des affleurements dispersés de porphyrites. La traînée basique profonde de Sam Neua atteint, avec de splendides diabases, la région de Sop Cop; mais ne la dépasse guère au Nord. Bref, avec les caractères qui viennent d'être indiqués, la *Zone du Nam Sam*, définie dans Sam Neua, se prolonge jusqu'à l'ouest de Lai Chau; si l'on y joint l'extension reconnue par M. Jacob jusqu'à la côte du golfe du Tonkin, cette zone est maintenant suivie sur une longueur de 450^{km}.

Au sud-ouest de Dien Bien, des calcaires reposent sur la zone du Nam Sam et semblent se poursuivre au Laos; peut-être faut-il les considérer comme un témoin des calcaires de Son La.

Les calcaires des plateaux reposent en effet sur la Zone du Nam Sam; la disposition est très nette sur la bordure; elle est confirmée par de nombreuses fenêtres entaillées dans les plateaux, où l'on trouve la série schisto-gréseuse, parfois accompagnée de porphyrites, parfois avec des fossiles; je cite des *Daonelles* écrasées sur le chemin de Pac Ma à Dien Bien, *Myophoria inæquicostata* Klips, au sud de Muong Bu. Or, les calcaires eux-mêmes m'ont

fourni en divers points des polypiers paléozoïques et des *Fusulines*, celles-ci à l'ouest de Son La, ou bien encore au nord de Muong Tham, où elles correspondent à *Doliolina lepida* Schwag, du Permien. La superposition de calcaires ouralopermiens à la série grésoschisteuse triasique prouve le *charriage des calcaires de Son La*. Ceux-ci se trouvent du reste dans le prolongement des masses calcaires supérieures, également charriées, du Moc et de la chaîne de Thanh Hoa, telles que les a définies M. Jacob; mais dans le Tonkin occidental elles sont paléozoïques, alors qu'au Sud-Est on n'y a signalé jusqu'ici que des fossiles triasiques.

A l'est des plateaux calcaires court une bande, longue et étroite, connue, depuis Van Sai et même plus au Sud, jusqu'au Pou Sam Cap à l'est de Lai Chau; elle est dite du *Terrain Rouge* et formée de schistes, de grès rouges, de poudingues calcaires très particuliers et de calcaires; ceux-ci à Pac Ma sur la Rivière Noire ont fourni des Térébratules, d'âge peut-être callovien, les mêmes que celles retrouvées à Ban O dans Sam Neua.

Nous dépassons la Rivière Noire et nous atteignons la *Zone* du Sa Phin. Le Sa Phin, de même que son prolongement au Nord, le Nam Kim, est formé de schistes triasiques, à *Megaphyllites* cf. *Lantenoisi* Mansuy, à *Halobies* et *Daonelles* dans la région de Than Huyen, à *Estheria minuta* à l'est de Ta Bu. Dans ces schistes se rencontrent des masses considérables de microgranite et de rhyolite, souvent écrasées, avec en divers points, notamment vers la Rivière Noire sur le versant ouest du Sa Phin, des porphyrites. Cette Zone du Sa Phin supporte les plateaux calcaires, sous lesquels elle se relie au Nam Sam, ainsi que le prouvent les fenêtres de Son La. M. Jacob a étudié sa naissance à l'est de Ta Khoa, sous les porphyrites de la Rivière Noire; il a retrouvé son prolongement au Nord sur le chemin de Cha Pa à Binh Lu. Nous la connaissons ainsi sur une longueur de 150^{km}.

Si enfin on pousse plus à l'Est encore, pour gagner le Fleuve Rouge, on trouve une nouvelle bande, qui sort sous le Sa Phin, dans la dépression de Nghia Lo; elle est formée de granites et de gneiss qui se relient à ceux de la rive gauche du Fleuve Rouge. Cette bande prolonge au Nord la région primaire de la Moyenne et Basse Rivière Noire, dont je n'ai plus trouvé qu'un témoin au sud-ouest de Yen Bay, sous la forme de schistes avec *Spirifer* certains pour M. Patte, mais indéterminables spécifiquement. Au Nord, c'est cette bande qui, en se surélevant, va donner le Fan Si Pan et les Aiguilles de Ta Yang Ping.

En somme l'étude de la structure du Tonkin occidental révèle une symétrie que traduisaient déjà les aspects géographiques. Dans l'axe,

correspondant à une dépression synclinale, dirigée Sud-Est, est conservé un vaste lambeau d'une nappe qui forme les plateaux calcaires, sous lesquels et de chaque côté desquels se rencontre une série gréso-schisteuse triasique avec de nombreuses intercalations éruptives; c'est, au Sud-Ouest, la zone du Nam Sam, au Nord-Est celle du Sa Phin; l'une et l'autre ont glissé sur un substratum profond, cristallin, qui, au Nord-Est, se relie avec les gneiss du Fleuve Rouge.

CHIMIE AGRICOLE. — *Composition des betteraves sauvages.* Note de M. E. Saillard, présentée par M. L. Maquenne.

Nous avons eu l'occasion d'analyser des betteraves sauvages qui ont été récoltées à Primel-Trégastel (Finistère).

Elles nous ont été adressées sur la demande de M. Schribaux.

Deux envois nous ont été faits : le premier le 26 octobre ; il comprenait 46 betteraves divisées en 9 lots; le second le 14 décembre ; il comprenait 4 lots; tous ont été analysés séparément.

Voici les résultats moyens que nous avons obtenus pour les lots envoyés le 26 octobre :

	Moyennes.	Maximum.	Minimum.
Poids des racines	17 g	56 g	10,80 g
Matière sèche (pour 100)	32,18	35,22	29,64
Sucre	15,95	19,60	13,80
Cendres	1,73	1,98	1,32
Marc insoluble	9,12	10,48	7,24
Cendres carbonatées dans le marc	0,46	0,56	0,30
Azote	0,84	0,98	0,63
Eau + sucre	83,50	84,38	82,88

	Composition moyenne des cendres carbonatées pour 100	
	de cendres.	de betteraves.
Silice	12,45	0,22
Oxyde de fer et alumine (très peu)	1,78	0,03
Chaux (CaO)	3,80	0,07
Magnésie (MgO)	8,87	0,15
Potasse (K^2O)	32,00	0,55
Soude (Na^2O)	8,56	0,15
Chlore (Cl)	6,04	0,11
Acide sulfurique (SO^3)	3,15	0,05
Acide phosphorique (P^2O^5)	9,45	0,16
Acide carbonique (CO^2)	13,87	0,24

On peut comparer ces résultats à ceux que donnent les betteraves industrielles (1).

Les betteraves sauvages qui nous ont été envoyées du Finistère étaient plus petites, plus ligneuses que les betteraves industrielles.

Elles contenaient pour 100^g plus de matière sèche (32,18 pour 100 contre 22 à 24); plus de marc insoluble (9,12 pour 100 contre 5); plus d'azote total (0,84 pour 100 contre 0,22); plus de matières minérales (environ 2,5 fois plus); plus de chlore (0,11 contre 0,02); plus de soude (0,15 contre 0,04); plus de magnésie (0,15 contre 0,06); plus d'acide phosphorique (0,16 contre 0,08 à 0,10).

Leur richesse saccharine (14 à 20 pour 100) était aussi élevée ou plus élevée que celle des betteraves industrielles; leurs jus étaient plus impurs (rapport du sucre à la matière sèche dans la partie soluble 69 pour 100 contre 86 à 88); la somme sucre + eau était plus faible (83,5 pour 100 contre 92 à 93).

Quant aux échantillons de betteraves sauvages qui nous ont été adressés le 14 décembre, ils ont donné les résultats suivants :

Sucre (pour 100)	13,00 à 15,56
Matière sèche	26,40 à 28,40
Cendres carbonatées	0,98 à 1,28
Azote total	0,33 à 0,49
Marc insoluble	9,00 à 9,90
Cendres carbonatées pour 100 de marc	0,34 à 0,40

Les betteraves des derniers lots contiennent donc un peu moins de sucre, de matière sèche, de marc, d'azote, de matières minérales que les betteraves des premiers lots.

Les résultats qui précèdent montrent qu'on trouve des betteraves aussi riches en sucre que les betteraves industrielles parmi les espèces sauvages, c'est-à-dire parmi des betteraves qui n'ont été soumises à aucune sélection par la main de l'homme.

Cela ne veut pas dire que les méthodes de sélection sont inutiles. Leur rôle est toujours de rechercher des racines répondant le mieux aux besoins industriels et pouvant transmettre leurs caractères à leurs descendants.

---

(1) Émile Saillard, *Comptes rendus*, t. 166, 1918, p. 697, et t. 170, 1920, p. 129.

CHIMIE PHYSIOLOGIQUE. — *Nouvelles observations sur le venin des fourmis.* Note [1] de M. **Robert Stumper**, présentée par M. E.-L. Bouvier.

Comme suite à nos premières recherches sur le venin des fourmis [2], nous avons tâché de déterminer la concentration de H.COOH dans le venin de ces insectes. A cet effet, nous avons recueilli du venin de *Formica rufa* dans du papier à filtrer dont le poids était connu. Après avoir titré l'acide formique y contenu, nous avons calculé la concentration.

Le Tableau I réunit les données expérimentales.

Tableau I. — *Concentration de l'acide formique* (Formica rufa).

Quantité de sécrétion recueillie.	Quantité de H.COOH titrée.	Concentration de H.COOH (en grammes pour 100g).
g 0,1336	g 0,0966	pour 100 72,80
0,0955	0,0667	69,87
0,1355	0,0930	68,43
0,2892	0,1667	55,80
0,2496	0,090	36,12
0,060	0,0128	21,35
0,0102	0,00598	58,63
0,0102	0,00576	56,39

On voit que la concentration de H.COOH n'est nullement constante : elle varie de 21 à 71 pour 100, c'est-à-dire des liqueurs $\frac{5}{N}$ à $\frac{17}{N}$. Quelle est la cause de ce phénomène? Il est fort probable que l'état de sécheresse et d'humidité y intervienne. D'autre part, la température joue également un certain rôle. Nous avons pu vérifier la *règle de van't Hoff* pour la formation de H.COOH et nos expériences nous ont fourni $Q_{10} = 2,16$. Ce qu'il y a de plus frappant dans la sécrétion si abondante d'acide formique, c'est que les parois de la vessie et du conduit éjaculateur résistent à l'action corrosive d'un acide si concentré. Nous devons bien avouer que l'explication de ce fait nous échappe pour le moment.

Dans une troisième série d'expériences, nous avons déterminé la teneur

---

(1) Séance du 30 janvier 1922.

(2) R. Stumper, *Le venin des fourmis, en particulier l'acide formique* (*Comptes rendus*, t. 174, 1922, p. 66).

en acide formique dans différentes fourmis. Le Tableau II résume les résultats obtenus par titration d'un extrait aqueux de ces insectes.

TABLEAU II.

Espèce.	Quantité de H.COOH par fourmi.	Poids d'une fourmi (moyenne).	Quantité de H.COOH contenue dans 100g de fourmis.
I. CAMPONOTINÆ :			
		g	g
1. *Camponotus ligniperda* ☿	0,0017	0,025	7
2. *Formica rufa* ☿	0,002	0,011	18
3. » *pratensis* ☿	0,0012	0,01	12,5
4. » *truncicola* ☿	0,00042	0,011	3,8
5. » *sanguinea* ☿	0,00035	0,0095	3,6
6. » *rufibarbis* ☿	0,00017	0,0060	2,81
7. » *fusca* ☿	0,00014	0,0039	3,6
8. *Lasius flavus* ☿	0,00012	0,00154	7,8
9. » » ♀	0,00046	0,019	2,5
10. » *fuliginosus* ☿	0,0001	0,0043	2,3
11. *Cataglyphis bicolor* ☿	0,0007	0,0181	3,9
II. MYRMICINÆ :			
1. *Myrmica rubra* ☿	0		0
2. *Tetramorium in cæspitum*	0		0
3. *Messor barbarus*	0		0
4. *Acantholepis spec.?*	0		0
III. DOLICHODERINÆ :			
1. *Tapinoma erraticum*	0		0

L'inspection du Tableau II nous démontre que :

1° La présence de H.COOH est constante chez les *Camponotinæ*.

2° Les *Myrmicinæ* et les *Dolichoderinæ* ne sécrètent pratiquement pas de H.COOH.

3° Comme les *Camponotinæ* présentent un organe vénénifique à dard rudimentaire et à glandes bien développées, on est en droit de dire que la sécrétion d'acide formique n'est faite que par ce type d'appareil venimeux (glande à coussinets d'après Forel).

4° L'action toxique du venin des *Camponotinæ* est due à l'acide formique. On peut en distinguer deux actions nettement différentes :

a. L'*action corrosive* de l'acide concentré; cet effet est produit par les cations H^+ de H.COOH.

b. L'*action toxique* proprement dite, liée probablement à l'anion $HCOO^-$ qui exerce une influence nocive sur le système nerveux.

Quant au venin des autres sous-familles chez lesquelles la présence d'acide formique n'est pas constante ou fait défaut, notamment de ces espèces tropicales piquantes, dont le venin est capable de produire des troubles très graves chez l'homme, le chimisme nous reste inconnu. Ce sont probablement des toxines analogues à celles des serpents ou scorpions. Des recherches futures permettront seules de résoudre ce problème important.

PHYSIOLOGIE. — *Incoagulabilité du sang circulant provoquée chez la grenouille par les injections d'acides nucléiques. Durée de la phase. Comparaison avec divers anticoagulants.* Note de M. **Doyon**, présentée par M. Charles Richet.

L'injection d'une seule et faible dose d'acide nucléique provoque, chez la grenouille, l'incoagulabilité du sang circulant pendant plusieurs jours. L'acide nucléique n'est pas toxique ou du moins a une toxicité très faible. Son activité sur le sang circulant de la grenouille est plus sûre et plus complète que celle de l'oxalate de potasse, du fluorure de sodium, du citrate de soude.

1. On injecte à des grenouilles 1^{cg} à 4^{cg} d'acide nucléique (¹) dans le sac lymphatique dorsal. Le sang circulant, recueilli par section d'une cuisse, devient incoagulable. La phase pendant laquelle le sang est incoagulable dure 4 jours, quelle que soit la dose injectée dans les limites indiquées. Si les grenouilles, au lieu d'être maintenues à la température du laboratoire, en hiver, sont placées à l'étuve à + 30°-38°, la phase pendant laquelle le sang circulant est incoagulable ne dépasse pas 24 heures. Dans tous les cas les grenouilles survivent et restent vivaces.

2. J'ai injecté, à titre comparatif, dans les mêmes conditions et aux mêmes doses, des solutions d'oxalate de potasse, de fluorure de sodium, de citrate de soude, dont les propriétés anticoagulantes sur le sang, *in vitro*, sont bien connues.

Avec l'oxalate de potasse il est impossible de constater l'incoagulabilité

(¹) J'emploie, le plus souvent, des solutions contenant 50^{cg} ou 1^{g} d'acide nucléique provenant des ganglions mésentériques dans 25^{cm^3} d'une solution alcaline faible (eau distillée, 1000; carbonate de soude, 5; chlorure de sodium, 4). Les solutions injectées sont faiblement, mais nettement acides au tournesol.

du sang, si même elle se produit. En moins d'une demi-heure les grenouilles deviennent inertes; après quelques heures le cœur ne bat plus. Je n'ai jamais pu obtenir de sang par section d'une cuisse, à aucun moment.

L'injection de fluorure est moins nocive. Les grenouilles résistent à la température ordinaire à 2^{cg}, mais le sang reste coagulable. Les grenouilles placées à l'étuve meurent en moins d'une demi-heure.

Le citrate de soude est très peu toxique, mais il est très sensiblement moins actif sur le sang circulant que l'acide nucléique. Les grenouilles résistent même aux plus fortes doses indiquées. Passagèrement elles peuvent devenir inertes, mais, après quelques heures, elles reprennent leur vivacité, même à l'étuve. On observe des trémulations fibrillaires, et des contractures, principalement lorsqu'on maintient les grenouilles injectées dans la main serrée. Dans les premières heures qui suivent l'injection, le sang, obtenu par section d'une cuisse, coagule généralement en masse; le sang recueilli le lendemain peut ne pas se prendre en masse, mais on constate toujours la présence de nombreux petits flocons de fibrine.

Au total, seules les injections d'acides nucléiques sont réellement efficaces.

ANATOMIE. — *De l'asymétrie du squelette des membres supérieurs.* Note de M. **A.-A. Mendes-Corrêa.**

Comme suite à une Note précédente sur quelques différences sexuelles dans le squelette des membres supérieurs (¹), voici les résultats de quelques-unes de mes observations sur les différences entre les os des membres thoraciques des deux côtés du corps (²). Ces résultats s'appuient sur le matériel déjà utilisé dans l'étude antérieure (92 clavicules, 70 omoplates, 113 humérus, 100 radius et 88 cubitus).

J'ai distingué les moyennes déterminées sur les os identifiés (en ce cas, aussi sur les os couplés) de celles déterminées sur la totalité des séries. Je ne considère les différences obtenues dans celle-ci comme établies que lorsqu'elles sont d'accord avec celles obtenues en excluant les os dont le diagnostic du sexe a été fait par comparaison avec les os identifiés. Je ne considère pas non plus comme établies les différences qui ne sont pas assez grandes par rapport aux écarts-types (*standard deviations*).

(¹) *Comptes rendus*, t. 172, 1921, p. 817.

(²) Les chiffres, trop nombreux, seront publiés dans un autre Recueil.

D'accord avec les constatations de Parsons sur les clavicules des Anglais modernes, j'ai trouvé dans la série portugaise que la clavicule gauche est, en moyenne, un peu plus longue que la droite. Mais ces différences n'ont pas une valeur suffisante (♂ : $\Delta = 2^{mm},18$; $\sigma = 0.85$. ♀ : $\Delta = -0^{mm},88$; $\sigma = 0,85$) (¹). Les différences des autres mesures linéaires et celles de l'indice total de l'os sont dans le même sens, mais elles n'ont pas non plus de valeur statistique parce qu'elles sont très petites par rapport aux écarts respectifs. L'indice de la diaphyse ne présente pas de différences concordantes et significatives entre les deux côtés dans les deux sexes. L'indice de la courbure ne donne pas non plus de différences importantes. Par contre, la supériorité du côté gauche est sensible dans l'indice clavio-huméral, mais elle n'y est pas non plus d'une valeur suffisante :

(♂ : $\Delta = -0,90$; $\sigma = 0,63$. ♀ : $= -1,77$; $\sigma = 0,63$).

Dans les mesures linéaires de l'omoplate j'ai trouvé aussi quelques différences en faveur du côté gauche.

L'humérus droit est, en moyenne, plus long que le gauche, mais la différence est à peine sensible, surtout chez l'homme (♂ : $\Delta = 1^{mm},50$; $\sigma = 0,99$. ♀ : $\Delta = 2^{mm},99$; $\sigma = 1,25$). Les différences ne sont pas toujours dans le même sens et pourvues de signification statistique pour les autres mesures linéaires de l'humérus. J'ai trouvé une proportion des cas de gauchisme huméral plus grande que celle enregistrée par E. Rollet dans une Note à l'Académie des Sciences (²). L'indice de robustesse, un peu plus grand à gauche chez l'homme, n'offre pas cependant de différences significatives des moyennes entre les deux côtés (♂ : $\Delta = -0,19$; $\sigma = 0,32$. ♀ : $\Delta = 0,88$; $\sigma = 0,41$). De même l'indice huméro-fémural et celui de la section de la tête. Les indices moyens diaphysaire et épicondylo-trochléaire sont un peu plus grands à gauche, mais ce résultat n'a pas de valeur statistique.

Pour le radius et le cubitus, la proportion de gauchers s'accroît encore dans ma série pour les deux sexes, et je ne trouve pas invariablement des moyennes supérieures du côté droit. La plupart des différences trouvées dans les mesures linéaires n'ont pas de signification statistique, et il n'y a pas souvent de la conformité entre les différences des moyennes fondées sur les os couplés et celles fondées sur la totalité de la série. C'est le cas, par exemple, de la longueur du cubitus :

♂ — Différence entre la gauche et la droite dans les os couplés.......... $-0^{mm},61$

♂ — Différence entre la gauche et la droite dans tous les exemplaires.... $5^{mm},41$

La longueur moyenne du radius est plus grande à droite pour le sexe masculin et c'est le contraire chez la femme, mais la différence chez l'homme est très faible ($0^{mm},32$ pour la totalité des exemplaires). Les différences dans les indices de robus-

(¹) Δ, différence entre la moyenne gauche et la droite; σ, écart de la différence (*standard deviation*).

(²) *Comptes rendus*, t. 107, 1888, p. 257.

tesse du radius et du cubitus, favorables à la droite (sauf chez l'homme pour le radius), n'ont pas de valeur, ainsi que les différences, en des sens discordants, des indices de l'oleciane et de la diaphyse cubitale, et peut-être aussi de l'indice de la courbure radiale. Il faut cependant remarquer une supériorité légère de la moyenne droite de l'indice de la diaphyse cubitale, bien qu'elle soit dépourvue de signification nette. Plus nette est, chez la femme, la supériorité de l'indice ante-brachial gauche (♂ : $\Delta = -0,41$; $\sigma = 0,58$. ♀ : $\Delta = -1,99$; $\sigma = 0,63$). J'ai remarqué des différences importantes dans l'indice de la diaphyse radiale : elle est, en moyenne, plus épaisse et plus étroite à droite qu'à gauche (♂ : $\Delta = 2,23$; $\sigma = 0,61$. ♀ : $\Delta = 2,39$; $\sigma = 0,79$).

Dans la présente Note, je résume seulement quelques résultats de mes observations. Ils suffisent cependant à démontrer que le problème du dextrisme ou du sénestrisme morphologique dans le squelette des membres supérieurs n'aboutit pas à des conclusions aussi simples et aussi générales qu'on le supposait. Sauf dans quelques rares éléments métriques, tels que l'indice de la diaphyse radiale, je n'ai pas trouvé de différences concluantes entre les deux côtés : en contrôlant la plupart des différences des moyennes par l'application des méthodes statistiques, on conclut qu'elles n'ont pas de signification appréciable. Certes, en soumettant les résultats d'autres auteurs à une analyse critique semblable, on pourra conclure de même pour beaucoup de ces résultats.

Mes séries me permettront peut-être de remarquer une supériorité sensible de la clavicule et de la largeur scapulaire à gauche, et, tout en accordant, pour la plupart des mesures et des indices, une supériorité plus fréquente du côté droit sur le gauche, elles me permettent aussi de ne pas me conformer aux conclusions si catégoriques de Rollet et d'autres auteurs. La proportion de gauchers morphologiques du squelette du bras et de l'avant-bras (de celui-ci surtout) est bien plus forte dans la série portugaise que dans celle de l'auteur français. Doit-on conclure que la proportion des gauchers fonctionnels y est aussi plus forte? Je n'ose pas le supposer. Il faudrait établir d'avance une corrélation étroite et constante entre le développement morphologique de chacun des membres supérieurs et leur activité correspondante.

ANATOMIE PATHOLOGIQUE. — *Sur l'histogenèse et l'origine des chordomes.* Note de MM. **Alezais** et **Peyron**, présentée par M. Quénu.

Les néoplasmes dérivés de la notochorde (dont Ribbert a apporté, en 1894, la première étude) siègent tantôt à l'occiput où ils sont ordinairement bénins, tantôt au coccyx où ils sont d'une malignité incontestable. Sur le nombre total (28) des cas de chordomes observés jusqu'ici, nous avons pu en reconnaître personnellement quatre (1) [dont un en collaboration avec MM. Bérard et Dunet (2)], ce qui établit que le type néoplasique est très souvent méconnu. Nous avons pu, d'autre part, étudier cinq cas anciens dont les préparations nous ont été communiquées.

1° La disposition histologique fondamentale, retrouvée en particulier à l'examen des neuf tumeurs, est la vacuolisation spéciale des éléments cellulaires, se traduisant parfois par l'aspect typique du physaliphore et affectant à la fois le cytoplasme et les espaces intercellulaires dérivés de l'exoplasme. Elle constitue un caractère spécifique du tissu chordal, et l'on doit tenir pour douteux tout cas dans lequel elle ferait complètement défaut.

La substance amorphe ou granuleuse contenue dans les vacuoles et qui constitue secondairement des plages ou des travées plus ou moins épaisses, présente un ensemble de réactions qui lui assigne une place intermédiaire entre le mucus et les substances fondamentales conjonctives. Du reste, certains aspects histologiques sont favorables à l'hypothèse de sa transformation directe en fibrilles de nature collagène, suivant un processus voisin de ceux décrits par Baitsell et Nageotte à propos des exsudats de fibrine.

A côté de ce type vacuolaire, il existe d'autres dispositions sans doute rares mais présentant un intérêt particulier pour la biologie générale du tissu chordal. Les unes expriment l'état de dédifférenciation de ce dernier, les autres une évolution cellulaire spéciale ou d'apparence anormale, mais qui s'explique par l'embryologie : ce sont les suivantes :

2° Cavités régulières bordées d'un épithélium prismatique ou cubique et, susceptibles d'être homologuées au canal chordal primitif de l'embryon, mais qui n'ont été observées jusqu'ici que dans notre cas de chordome occipital. De nonvelles observations sont donc nécessaires pour confirmer cette dérivation.

---

(1) Alezais et Peyron, *Chordome occipital* (*Bull. de l'Ass. franç. pour l'étude du cancer*, 1913).

(2) Bérard, Dunet, Peyron, *Les chordomes du coccyx* (*Ibid.*, décembre 1921, avec bibliographie).

3° Cordons cellulaires pleins de type épithélial, à cytoplasme dense, tantôt vacuolaire, tantôt entre lesquels s'interposent parfois régulièrement des endothéliums vasculaires; ce dernier caractère anormal dans le tissu chordal étant très important ici pour expliquer la prolifération. Cette variété assez rare du type néoplasique a été nettement reconnue par Argaud.

4° Présence d'éléments cellulaires de type fusiforme ou polymorphe analogues à ceux des sarcomes et en rapport génétique avec une substance fondamentale conjonctive vraie. Cette disposition, jusqu'ici très rare (deux cas) et que nous avons mise en évidence, a un intérêt particulier parce qu'elle nous paraît réaliser le passage du type chordal des chordomes à un type sarcomateux franc d'une malignité plus grande : elle devra être recherchée avec soin dans les observations à venir.

5° Développement d'un réseau de fibrilles d'une finesse remarquable rappelant l'histogenèse de la névroglie embryonnaire et du gliome. Sous son aspect typique il est d'observation rare (un cas). Il apparaît au niveau des zones vacuolisées et coïncide avec une évolution syncytiale qui fait disparaitre presque complètement les limites cellulaires. Ces fibrilles qui n'avaient pas été signalées jusqu'ici dans les tumeurs [1] représentent un dispositif de soutien : elles ne doivent pas être confondues avec les fibrilles de nature collagène qui s'individualisent parfois à leur voisinage ou à leur contact et qui correspondent à nne phase plus avancée du syncytium chordal.

En résumé, nos observations sur les chordomes ont permis de retrouver dans les tumeurs les stades classiques de l'évolution de l'ébauche chordale, d'abord creuse (canal chordal), ensuite pleine, mais encore indifférenciée, et enfin adaptée à un rôle de soutien (apparition des vacuoles et des fibrilles). La genèse d'élémeuts cartilagineux qui s'observe dans la chorde des Amphibiens et probablement aussi chez les Mammifères, ne se retrouve pas ici; elle correspond du reste à des nécessités fonctionnelles bien déterminées, qui font évidemment défaut dans les tumeurs, mais le développement d'éléments cellulaires identiques à ceux du sarcome et d'une substance fondamentale conjonctive, exprime un fait de même ordre.

Le mécanisme du développement du chordome et, en particulier, le rôle du traumatisme, appellent encore de nouvelles recherches. Le tissu notochordal ne paraît guère réagir aux états inflammatoires ou infectieux ; par contre, il se différencie rapidement à la suite des décompressions ou hernies traumatiques et peut présenter alors des néoformations étendues et prolongées. Il semble acquis, en particulier par l'absence des chordomes sur le trajet dorso-lombaire de la colonne vertébrale, que les tumeurs proviennent beaucoup moins des disques que des vestiges chordaux spéciaux

---

(1) Alezais et Peyron, *C. R. Soc. de Biol.*, 20 mars 1920.

persistant au niveau des segments occipital et coccygien. Pour le premier, la topographie des vestiges, déjà étudiée dans les travaux de Williams et de Tourneux, se superpose précisément à celles des tumeurs correspondantes ; pour le second, nos propres recherches (faites sur une cinquantaine d'embryons et de fœtus humains et destinées à être exposées prochainement) montrent la fréquence, au niveau de la dernière vertèbre coccygienne, de vestiges chordaux multiples correspondant sans doute au segment terminal de la chorde primitivement contenu dans l'appendice caudal de l'embryon ; mais nous n'avons pu établir encore avec certitude ni leur persistance chez l'adulte, ni le point de départ des tumeurs à leur niveau.

MÉDECINE. — *Sur un nouveau procédé de diagnostic de la fièvre méditerranéenne*. Note de M. **E. Burnet**, présentée par M. Roux.

On emploie actuellement dans les laboratoires deux procédés de diagnostic de la fièvre méditerranéenne : l'hémoculture et la séro-réaction. Ils ne sont applicables que si l'on dispose d'une installation convenable. Or dans beaucoup de pays à fièvre méditerranéenne les laboratoires font défaut, ou sont trop éloignés des malades.

Nous proposons un procédé qui peut être utilisé par tout médecin dans sa clientèle : l'intradermo-réaction faite avec une goutte de filtrat d'une culture en bouillon de *Micrococcus melitensis*.

A la suite de cette inoculation, on voit se produire dès la sixième heure une réaction locale caractérisée par de l'œdème et de la rougeur. L'œdème est le phénomène essentiel. La rougeur peut manquer.

Chez le cobaye, l'inoculation peut se faire dans la peau épilée de la patte ou du flanc, ou dans la peau de l'oreille. Une fois la réaction apparue, on sent facilement entre le pouce et l'index l'épaississement considérable du pli de la peau. Si l'inoculation a été faite à l'oreille, l'oreille qui a réagi est épaissie et chaude; l'oreille non inoculée, qui est restée mince et souple comme une feuille, fournit le meilleur témoin.

Le cobaye infecté réagit au filtrat dès le huitième jour après l'inoculation sous-cutanée de $0^{cm^3},5$ d'une suspension louche de *Micrococcus melitensis*. Sa sensibilité va ensuite en augmentant. On obtient de fortes réactions à partir du vingtième jour.

Nous avons cherché s'il se produisait chez le cobaye infecté une accou-

tumance à la réaction locale : il ne s'en produit pas. Nous avons pratiqué chez le même cobaye, en huit jours, six inoculations successives en divers points du corps : la sixième réaction valait la première. On peut même répéter avec succès l'inoculation dans un tissu qui a réagi une huitaine de jours auparavant, et il semble que le tissu soit devenu plus sensible.

D'autre part, nous avons constaté que l'inoculation intracardiaque ou intrapéritonéale d'une notable quantité de filtrat (4^{cm^3}), lorsqu'elle ne tue pas l'animal (car elle est toxique pour les cobayes infectés de *melitensis*), supprime ou atténue beaucoup l'intradermo-réaction faite le lendemain.

L'inoculation sous-cutanée cause un œdème local, avec rougeur au point d'inoculation : réaction tout à fait comparable à celle qui suit une inoculation sous-cutanée de tuberculine chez l'homme tuberculeux.

Chez l'homme atteint de fièvre méditerranéenne, la réaction positive apparaît, dès la septième heure après l'inoculation du filtrat, sous l'aspect d'un œdème local, accompagné de rougeur, et même d'une légère douleur. La zone de réaction, de 4^{cm} à 6^{cm} de diamètre environ, est à contour régulier et bien délimitée. Le médecin la trouvera très nette le lendemain de l'inoculation. Elle persiste plusieurs jours.

Nous l'avons observée chez tous les sujets (huit) chez lesquels la fièvre méditerranéenne était diagnostiquée par l'ensemble des symptômes cliniques, par la séro-réaction ou l'hémoculture, ou par ces deux réactions à la fois.

Ces réactions positives ont été obtenues du douzième au trente-cinquième jour de la maladie (autant qu'on pouvait en fixer le début) et, chez deux sujets guéris, trois et cinq mois après la fin de la fièvre. Chez un sujet guéri depuis dix-huit mois la réaction a été négative. Chez deux autres malades suspects de fièvre méditerranéenne et qui n'ont pas réagi, l'hémoculture, la séro-réaction et l'évolution clinique ont prouvé qu'il ne s'agissait pas de fièvre méditerranéenne.

Quarante-quatre sujets normaux, huit tuberculeux, deux typhoïdiques au troisième septénaire, sept paludéens n'ont pas réagi.

Le dépôt d'une goutte du même filtrat sur la peau légèrement scarifiée ne nous a pas donné de réaction.

L'inoculation sous-cutanée cause un œdème un peu douloureux.

Nous avons constaté que le bouillon filtré sur bougie Chamberland L est actif dès le huitième jour de la culture. Nous conseillons d'employer dans la pratique le filtrat de cultures d'un mois.

L'activité du filtrat résiste à l'ébullition (une minute) qui l'atténue seulement un peu. Le filtrat phéniqué à 0,5 pour 100 est actif comme le filtrat non phéniqué.

Nous continuons l'étude de cette réaction, en l'étendant à la chèvre, profitant des nombreux troupeaux de chèvres laitières que nous avons à notre disposition.

Il nous reste à fixer la durée de l'activité des cultures; la durée de la sensibilité des sujets infectés; les conditions de conservation du filtrat actif; les caractères anatomiques et physiologiques de la réaction; ses rapports avec la réaction tuberculinique.

Nous croyons dès maintenant que cette intradermo-réaction, sûre, simple et partout applicable, doit rendre service dans les pays où la fièvre méditerranéenne sévit et où, faute de laboratoire, elle risque d'être méconnue.

ÉPIDÉMIOLOGIE. — *La Musaraigne*, Crocidura Stampflii *et la peste au Sénégal.* Note de MM. **Marcel Léger** et **A. Baury**, présentée par M. F. Mesnil.

Il est établi de façon indiscutable, depuis les importantes constatations de Yersin à Hong-Kong (1894) et de Simond aux Indes (1897), que les Muridés, et en particulier *Mus decumanus*, *Mus rattus* et *Mus musculus*, sont des propagateurs attitrés [Simond ([1])] de la peste bubonique.

Les faits observés au cours de l'enzootie actuelle de Dakar nous ont convaincu qu'un Insectivore, le *Crocidura Stampflii* Jentink, joue, au Sénégal, un rôle différent de celui des Rongeurs, mais non sans importance. Cette musaraigne africaine ne propage pas à distance la maladie animale, et transmet sans doute moins facilement la peste à l'homme; mais elle constitue un réservoir local de virus, capable de créer de petites épidémies de cases.

La Crocidure est un hôte familier des habitations indigènes, généralement mal construites et mal entretenues. Elle y abonde, partageant avec les souris les recoins obscurs et sales, élevant des portées, tri ou quadriannuelles, de 5 à 10 petits. Quoique insectivore, elle s'accommode de

([1]) Simond, *La Peste in* Grall et Clarac, *Traité Pathologie exotique*, t. 6, p. 453-648. Baillière 1913.

débris alimentaires, et fouille volontiers dans les détritus divers, provenant d'agglomérations peu soucieuses de l'hygiène. L'animal n'est pas migrateur comme les Rats et, en particulier, *Mus decumanus*; il s'éloigne fort peu de l'endroit où il a élu domicile.

De fin septembre à fin décembre 1921, nous avons examiné 861 rats et 267 musaraignes, capturés dans la ville de Dakar par les soins du Service de Dératisation dirigé par notre ami, le Dr Javelly.

Le bacille pesteux a été décelé chez les Muridés 93 fois, soit un pourcentage de 10,8. La proportion de *Crocidura Stampflii* infectés est de 9,37 pour 100.

Les Musaraignes ont été trouvées pesteuses presque uniquement dans les maisons où il y avait eu récemment des cas humains de la maladie. Elles traînent une infection chronique, avec très peu de germes dans le sang circulant ; à l'autopsie, sur frottis d'organes, les bacilles sont toujours rares ou très rares. A quantité égale d'animaux, la transmission de la Peste de Crocidure à Homme doit donc être moins commune que celle de Rat à Homme.

Crocidura Stampflii héberge, dans son pelage, des puces en nombre aussi élevé (4 à 5 par animal, en cette saison) que les rats, et beaucoup plus élevé que les souris. Nous n'y avons jamais rencentré que *Xenopsylla* (*Pulex*) *cheopis*, qui est la puce la plus communément observée au Sénégal (André Leger, 92 pour 100 ; F. Noc, «pour la plupart»).

Signalons enfin que des souris ayant été placées à côté d'une Musaraigne, dans une même cage, séparées seulement par un treillis métallique, les puces ont quitté les premières pour se réfugier toutes sur la seconde, attirées sans doute par un pelage plus hospitalier ou par l'odeur fortement musquée exhalée.

Nos constatations ne cadrent pas avec la plupart de celles faites jusqu'ici.

Aux Indes par exemple, les savants anglais (1) qui se sont voués depuis 15 ans, sur l'initiative du *Lister Institute*, à l'étude de la peste, ont été frappés du nombre relativement élevé de Musaraignes, *Crocidura cærulea*, « Musk Rat », capturés par les différents procédés mis en œuvre contre les rats. Leur présence est signalée partout, aussi bien sur la Côte occidentale

---

(1) *Reports on Plague Investigations in India* (*Jl of Hygiene*, vol. 7, nº 6, décembre 1907, p. 724 ; vol. 10, novembre 1910, p. 456 et 521 ; vol. 11, décembre 1911, p. 173 et 207).

(Bombay : 294 musaraignes sur 13369 animaux examinés ; environs de Bombay : 1043 sur 5626 ; Poona, Belgaum), que sur la Côte orientale (Madras : 1253 « Musk Rats » sur 35744 ; Dacca : 2337 sur 9418). Le nombre de *Crocidura cœrulea* examinés aurait dû être plus élevé, car les Hindous tiennent ces animaux en haute estime (in high esteem), et les relâchent généralement sans les porter au laboratoire.

Mais les divers Missionnaires qui se sont succédé aux Indes anglaises, affirment tous que la Crocidure n'a aucun rôle dans l'épidémie ou l'épizootie pesteuses. Quoique, remarquent-ils, cet Insectivore soit, par ses habitudes de vie, très exposé à l'infection, ils n'en ont jamais trouvé un parasité. *Crocidura cœrulea* serait réfractaire, ou tout au moins très résistant à l'infection (highly resistant to Plague); l'inoculation sous-cutanée « de $\frac{1}{5}$ de tube de culture sur gélose » d'une race pesteuse virulente serait même restée sans effet.

Lamb et ses collaborateurs écrivent, en outre, n'avoir trouvé à Belgaum de *Pulex cheopis* que sur les rats, à l'exclusion des autres animaux. A Dacca, les musaraignes hébergeaient des *Pulex cheopis*, mais en très petit nombre (0,7 par animal), tandis que sur les rats ces puces étaient abondantes (4,2 par tête).

Les faits que nous apportons ne concordent pas non plus avec les observations relevées jusqu'ici au Sénégal par le prédécesseur immédiat de l'un de nous à la Direction de l'Institut de Biologie, F. Noc, ainsi que par Laveau (¹); mais leur examen avait porté sur un très petit nombre de Musaraignes (²).

Par contre, nous nous trouvons d'accord avec Kerandel (³). Bien que n'ayant décelé le bacille pesteux que chez une seule Musaraigne du Cambodge (il ne dit pas le nombre de ces Insectivores examinés), notre distingué Camarade n'a pas hésité à conclure que *Crocidura murina* constitue « un réservoir de virus de la Peste ». Sa Musaraigne hébergeait des *Xenopsylla cheopis*.

De même Cadet (⁴), dans son étude de la Peste au Sud Annam,

(¹) LAVEAU, *Bull. Soc. Path. exotique*, 1919, p. 291.

(²) Rappelons que A. Leger a découvert, chez la même musaraigne, un spirochète sanguicole; A. Leger et Le Gallen ont montré qu'il a les caractères des spirochètes des fièvres récurrentes humaines (*Soc. Path. exot.*, 1917 et 1918).

(³) KERANDEL, *Bull. Soc. Path. exotique*, 1915, p. 54.

(⁴) CADET, *Bull. Soc. Path. exotique*, 1917, p. 41.

remarque que *Crocidura murina* donne asile à de nombreux *X. cheopis*, et, par conséquent, doit être tenu pour dangereux.

En conclusion, la formule, que Simond a rendue classique : « Les Muridés et les Tarbaganes seuls paraissent jouer un rôle important dans la transmission et la conservation de la Peste », mérite d'être élargie. Les Musaraignes, *Crocidura murina* pour l'Indo-Chine, *Crocidura Stampflii* pour le Sénégal, deviennent facilement des porteurs chroniques de virus, et, par leurs puces (*Xenopsylla cheopis*) nombreuses, contaminent, sans conteste, d'une part l'Homme, créant dans certains cas de petites épidémies de cases, d'autre part les Muridés, qui disséminent la maladie. Leur destruction doit donc être poursuivie systématiquement, avec la même vigueur que celle des Rats.

A 16 heures et demie, l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 17 heures.

É. P.

ERRATA.

(Séance du 30 janvier 1922.)

Note de M. *H. Chaumat*, Sur la mesure des isolements par la méthode dite d'accumulation :

Page 286, formule (3), *au lieu de*

$$V_1 = \frac{E\rho}{R+\rho}\left(1 - e^{\frac{R+\rho}{CR\rho}t_1}\right),$$

lire

$$V_1 = \frac{E\rho}{R+\rho}\left(1 - e^{-\frac{R+\rho}{CR\rho}t_1}\right).$$

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

Ouvrages reçus dans les séances de janvier 1922.

Études sur l'organisation et le développement des Lombriciens limicoles thalassophiles, par Jean Delphy. Paris, G. Doin, 1921; 1 vol. 25^{cm}. (Présenté par M. F. Mesnil.)

Cirripeden-Studien zur kenntnis der Biologie, Anatomie und Systematik dieser Gruppe, par Carl-Aug. Nilsson-Cantell. Uppsala, Almquist et Wiksells, 1921; 1 vol. 25^{cm}.

Triassic fishes from spitzbergen, par Erik A : son Stensiö. Vienne, Adolf Holzhausen, 1921; 1 vol. 28^{cm}.

Comptes rendus des séances de la sixième Conférence générale des Poids et Mesures, réunie à Paris en 1921 *sous la présidence de M. Émile Picard*. Paris, Gauthier-Villars, 1921; 1 fasc. 32^{cm}.

La théorie de la relativité et ses applications à l'Astronomie, par Émile Picard. Paris, Gauthier-Villars, 1922; 1 fasc. 18^{cm}.

Comité international des Poids et Mesures. Procès-verbaux des séances. Deuxième série. Tome IX. Session de 1921. Paris, Gauthier-Villars, 1921; 1 vol. 23^{cm}. (Présenté par M. P. Appell.)

Les récents progrès du Système métrique. Rapport présenté à la sixième Conférence générale des Poids et Mesures, par Ch.-Ed. Guillaume. Paris, Gauthier-Villars, 1921; 1 fasc. 33^{cm}.

Détermination de l'équation séculaire de la Terre dans la théorie d'Arrhenius, par Émile Schwoerer. Extrait des *Comptes rendus du Congrès international des mathématiciens.* Strasbourg, 23-30 septembre 1920.

Physique élémentaire et théories modernes, par J. Villey. Première Partie : *Molécules et atomes.* Paris, Gauthier-Villars, 1921; 1 vol. 25^{cm}.

Notice sur la vie et les travaux d'Émile Bourquelot, par J. Bougault et H. Hérissey, Paris, Société générale d'imprimerie et d'édition, 1921; 1 vol. 21^{cm}.

Précis d'arithmétique, par J. Poirée. Paris, Gauthier-Villars, 1921; 1 vol. 25^{cm}.

Animaux venimeux et venins, par Mme Phisalix. Tomes I et II. Paris, Masson et Cie, 1922; 2 vol. 25^{cm}. (Présenté par M. L. Bouvier.)

Turbines à vapeur, par M. Poincet. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1922; 1 vol. 23^{cm}. (Présenté par M. L. Lecornu.)

Histoire naturelle. Les plantes, par J. Costantin et F. Faideau. Fasc. 7. Paris, Larousse, s. d.; 1 fasc. 33^{cm}.

Le lait. Revue générale des questions laitières, publiée par L. Lindet, M. Beau

et Ch. Porcher. Première année, 1921. Lons-le-Saunier, Lucien Declume, 1921; 1 vol. 23^{cm}.

Guide pratique d'agriculture tropicale. Tome II : *Les grandes cultures. L'Arachide, le Cacaoyer, le Caféier, la Canne à sucre*, par A. Fauchère. Paris, Augustin Challamel, 1922; 1 vol. 25^{cm}.

Nomographie ou Traité des Abaques. Tome I : *Technique des Abaques*. Tome II : *Théories générales*, par R. Soreau. Paris, Étienne Chiron, 1921; 1 vol. 27^{cm}. (Présenté par M. Ch. Lallemand.)

Carte géologique provisoire du Maroc, par Louis Gentil. Paris, Émile Larose, 1920; 1 feuille 58^{cm}-75^{cm}. (Présenté par M. Termier.)

Études de Lépidoptérologie comparée, par Charles Oberthür. Fasc. XIX, 1re Partie. Rennes, Oberthür, 1922; 1 vol. 25^{cm}. (Présenté par M. E.-L. Bouvier.)

Sur les polynomes de Laguerre, par Félix Vaney. Lausanne, imprimerie La Concorde, 1921; 1 vol. 23^{cm}.

Alsnö Hus, par Bengt Thordeman. Stockholm, Norstedt, 1920; 1 vol. 25^{cm}.

Die chinesischen Handschriften-und sonstigen Kleinfunde Sven Hedins in Lou-Lan, par August Conrady. Stockholm, Generalstabens litografiska Anstalt, 1920; 1 vol. 32^{cm}.

Leçons d'Électrotechnique générale, par Paul Janet. Tome II : *Courants alternatifs sinusoïdaux et non sinusoïdaux alternateurs. Transformateurs*. Paris, Gauthier-Villars, 1922; 1 vol. 25^{cm}.

La mécanique du cerveau et la fonction des lobes frontaux, par L. Bianchi. Paris, Louis Arnette, 1921; 1 vol. 25^{cm}. (Présenté par M. Charles Richet.)

Travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon, publiés sous la direction de F. Roman. Fasc. I : *La montagne de Crussol, étude stratigraphique et paléontologique*, par Attale Riche et Frédéric Roman. Lyon, Faculté des Sciences, 1921; 1 vol. 25^{cm}. (Présenté par M. Ch. Depéret.)

Ophidia taprobanica or the snakes of Ceylon, par Frank Wall. Colombo, Cottle, 1921; 1 vol. 22^{cm}.

Précis de Muséologie pratique, par A. Loir et H. Legangneux. Le Havre, Muséum d'Histoire naturelle, s. d.; 1 vol. 19^{cm}.